



**SKRIPSI – ME 141501**

**PERBANDINGAN PENGGUNAAN AMONIA DAN  
HIDROKARBON SEBAGAI *CATALYST AGENT*  
PADA SCR (*SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION*)  
BERBAHAN *ZEOLITE* UNTUK MENGURANGI  
EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL**

WAHYU RAHMADANSYAH  
NRP. 4212100015

**Dosen Pembimbing**  
Ir. Tony Bambang, PGD  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil.

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**





**FINAL PROJECT - ME 141501**

**COMPARATION OF THE USE AMMONIA AND  
HYDROCARBONS AS CATALYST AGENT IN SCR  
(SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION) BASED  
ZEOLITE TO REDUCE EMISISSION DIESEL  
ENGINE**

WAHYU RAHMADANSYAH  
NRP. 4212100015

**Lecturer:**

Ir. Tony Bambang, PGD

Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil.

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING**

**Faculty of marine technology**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2016**



## **LEMBAR PENGESAHAN**

**Perbandingan Penggunaan Amonia Dan Hidrokarbon  
Sebagai *Catalyst Agent* Pada SCR (*Selective Catalytic  
Reduction*) Berbahan Zeolite Untuk Mengurangi Emisi  
Gas Buang Mesin Diesel**

### **SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**Wahyu Rahmadansyah  
NRP. 4212 100 015**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Ir. Tony Bambang, PGD**

(..........)

**Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil.**

(..........)

**SURABAYA  
Juli 2016**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

**Perbandingan Penggunaan Amonia Dan Hidrokarbon  
Sebagai *Catalyst Agent* Pada SCR (*Selective Catalytic  
Reduction*) Berbahan Zeolite Untuk Mengurangi Emisi  
Gas Buang Mesin Diesel**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Manufacture and Design* (MMD)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Wahyu Rahmadansyah  
NRP. 4212 100 015**

**Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :**



**Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, ST., MT.  
NIP. 197708022008011007**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## ABSTRAK

### **Perbandingan Penggunaan Amonia Dan Hidrokarbon Sebagai *Catalyst Agent* Pada SCR (*Selective Catalytic Reduction*) Berbahan Zeolite Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Mesin Diesel**

**Nama mahasiswa : Wahyu Rahmadansyah**  
**NRP : 4212100015**  
**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**  
**Dosen Pembimbing : - Ir. Tony Bambang, PGD  
-Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil.**

Mesin diesel kapal merupakan sebuah mesin yang terbukti handal dari segi fungsi dan efisien dalam penggunaan bahan bakar. Namun salah satu kekurangan dari mesin diesel adalah terdapat emisi pada gas buang yang berupa SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan CO. Dapat membahayakan kesehatan dan merusak kualitas udara serta hujan asam (HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yang dapat mengakibatkan kanker. Gas CO yang dapat menyebabkan kematian apabila terhirup secara langsung menyebabkan bertambahnya suhu bumi akibat pertambahan CO<sub>2</sub> atau global warming. Buruknya kondisi kualitas udara akibat gas buang yang dikeluarkan mesin diesel kapal mengakibatkan *International Maritime Organization* (IMO) mengatur standar minimum emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dalam ANNEX VI. Untuk mengatasi emisi udara yang dihasilkan dari diesel engine salah satunya menggunakan sistem SCR (*Selective Catalytic Reduction*). Sistem SCR yang konvensional menggunakan bahan urea dan amonia sebagai bahan injektornya. Namun, bahan urea dan amonia ini masuk dalam batasan aturan MARPOL ANNEX II. Oleh karena itu, ada bahan hidrokarbon yang dapat digunakan sebagai bahan

injektor dari sistem SCR. Hidrokarbon sendiri didapatkan dari bahan bakar dari kapal yaitu solar. Dalam skripsi ini akan dilakukan dengan pengujian beberapa variasi *zeolite* yaitu 60% *zeolite*, 45% *zeolite*, 30% *zeolite*, dan 15% *zeolite*. Sedangkan variasi beban terdapat 1700 watt, 2600 watt, dan 3500 watt. Dan variasi injeksi yaitu amonia dan hidrokarbon. Dalam pengujian mesin Yanmar TF 85 MH-di untuk mengurangi NO<sub>x</sub> lebih efektif meggunakan injeksi hidrokarbon daripada amonia. Karena hidrokarbon dapat mengurangi emisi NO<sub>x</sub> sebesar 21%, sedangkan amonia hanya 12%. Sehingga jika diaplikasikan ke dalam kapal tidak perlu menambah tangki untuk amonia karena solar (hidrokarbon) sudah termasuk didalam tangki bahan bakar di kapal.

**Kata kunci :Amonia, Emission, Hidrokarbon,Selective Catalytic Reduction**

## **ABSTRACT**

### **COMPARATIONOF THE USE AMMONIA AND HYDROCARBONS AS CATALYST AGENT IN SCR (SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION) BASED ZEOLITE TO REDUCE EMISISSION DIESEL ENGINE**

**Name of Student : Wahyu Rahmadansyah**  
**NRP : 4212100015**  
**Department : Marine Engineering**  
**Lecturer : - Ir. Tony Bambang, PGD**  
**-Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil.**

Diesel engine is a machine that has proved reliable in terms of function and efficient in fuel use. However, one drawback of diesel engine emissions is contained in the flue gas in the form of SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, and CO. It can be endangering for the health and impairing the air quality that will create acid rain (HNO<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) which can lead to cancer. CO gas that can cause death if inhaled directly cause an increase in the earth's temperature due to the increase of CO<sub>2</sub> or global warming. The poor air quality due to exhaust gases released ship diesel engines resulted in the International Maritime Organization (IMO) has been set into minimum standards for NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emissions in ANNEX VI. To overcome the air emissions generated from the diesel engine one of which uses the SCR system (Selective Catalytic Reduction). Conventional SCR system which uses materials urea and ammonia as material injector. However, urea and ammonia these materials fall under the restrictions of rules MARPOL ANNEX II. Therefore, there is a hydrocarbon material that

can be used as an injector of the SCR system. Hydrocarbons itself obtained from the fuel from the ship that is solar. In this thesis will be carried out by testing several variations of zeolite is 60% zeolite, 45% zeolite, 30% zeolite and 15% zeolite. While the load variation of more than 1,700 watts, 2600 watts and 3500 watts in variations of ammonia and hydrocarbon injection. In testing engine Yanmar TF 85 MH-in to reduce NOx more effectively use hydrocarbon injection rather than ammonia. Because hydrocarbons can reduce NOx emissions by 21%, while only 12% ammonia. So that when applied to the vessel does not need to add to the ammonia tank for diesel fuel (hydrocarbon) is included in the fuel tank on board.

**Keywords :Ammonia, Emission, Hydrocarbon, Selective Catalytic Reduction**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **Perbandingan Penggunaan Amonia Dan Hidrokarbon Sebagai *Catalyst Agent* Pada SCR (*Selective Catalytic Reduction*) Berbahan Zeolite Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Mesin Diesel.** Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga atas segala sesuatu yang diberikan kepada penulis, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Drs. Sunyoto dan Sri Mudjiati Kamsuri, S.Pd yang selalu memberikan dorongan material maupun spiritual yang tiada henti. Vivit Sri Muryantanti dan Indah Nuryati kakak tercinta yang selalu memotivasi agar cepat lulus.
2. Bapak Ir. Tony Bambang, PGD dan Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc, M.Phil selaku pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, kritik dan saran selama pengerjaan skripsi.
3. Dr.Eng Muhammad Badrus Zaman, ST.,MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan para dosen yang telah mendidik dan memberi pengetahuan selama penulis menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Pak Nur selaku teknisi Laboratorium MPP, Yasin, Iwan, Fiki, Saif, Bro Surya, Susi, Barjo, Gusma, Dimbon selaku rekan yang membantu dalam eksperimen.
5. Laboratorium Energi ITS selaku pelaksanaan uji emisi yang telah bersedia untuk menyediakan waktunya : Mbak Ken dan Mbak Deny

6. Keluarga besar Laboratorium MMD (Marine Manufacture Design) yang selalu memberikan semangat dan keceriaan selama penulis menempuh studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember ; Aji, Riski, Dhaifina, Arif, Herlan.
7. Keluarga besar Laboratorium RAMS (Reliability Availability Maintainability and Safety) yang selalu memberikan semangat dan keceriaan selama penulis menempuh studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember; Kapten Adi, Kapten Libry, Cakra, Fauzi, Agas, Fauzan, Manuel, Renna, Carla, Sita.
8. Semua pihak yang terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharap segala bentuk saran dan kritik yang membangun guna penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR GRAFIK.....	xxi
<b>BAB I</b>	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Skripsi.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II</b>	
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Sejarah SCR.....	6
2.3 Pengertian SCR.....	6
2.4 Manfaat SCR.....	8
2.5 Perinsip Operasi SCR.....	8
2.6 Perkembangan SCR.....	10
2.7 Aplikasi SCR.....	11
2.8 Katalis <i>Zeolite</i> .....	12
2.9 Katalis Dengan Mineral Lempung.....	13
2.10 Parameter <i>Performance</i> (Unjuk Kerja).....	13
2.11 Standar Pengukuran.....	16

### **BAB III**

METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	20
3.2 Studi Literatur.....	20
3.3 Pengumpulan Data.....	20
3.4 Eksperimen.....	20
3.5 Hasil Pengurangan Emisi.....	21
3.6 Kesimpulan.....	21
3.7 Saran.....	21

### **BAB IV**

ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Perbandingan Antara Torsi Maksimum Dengan RPM.....	24
4.2 Perbandingan Antara SFOC Dengan Daya Terhadap Bahan Bakar Solar.....	25
4.3 Perbandingan Antara Daya Maksimum Dengan Putaran Engine.....	26
4.4 Pembuatan <i>Catalyst</i> .....	27
4.4.1 Proses Penghancuran <i>Zeolite</i> .....	27
4.4.2 Pengukuran Presentase <i>Zeolite</i> Dan Tanah Liat.....	28
4.4.3 Proses Pelubangan Kaleng.....	29
4.4.4Proses Pencampuran <i>Zeolite</i> Dengan Tanah Liat.....	29
4.4.5Proses Pemasangan Filter Pada Kaleng.....	30
4.4.6Proses Pemasangan Kaleng Kedalam Pipa.....	31
4.5 Proses Pengujian Emisi.....	32
4.6 Proses Pengujian Emisi NOx.....	33
4.6.1 Perbandingan Beban Dengan NOx Pada Saat Tidak Menggunakan Alat.....	35
4.6.2Perbandingan Beban Dengan NOx.....	36



4.6.3	Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 60% <i>Zeolite</i> .....	37
4.6.4	Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 45% <i>Zeolite</i> .....	38
4.6.5	Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 30% <i>Zeolite</i> .....	39
4.6.6	Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 15% <i>Zeolite</i> .....	40
4.6.7	Perbandingan Beban Temperatur.....	41
4.7	Proses Pengujian Emisi Particulate Matter.....	42
4.7.1	Perbandingan Beban Dengan <i>Particulate Matter</i> Pada Saat Tidak Menggunakan Alat.....	43
4.7.2	Perbandingan Beban Dengan <i>Particulate Matter</i> .....	44
4.7.3	Perbandingan Beban Dengan <i>Particulate</i> Pada 60% <i>Zeolite</i> .....	45
4.7.4	Perbandingan Beban Dengan <i>Particulate</i> Pada 45% <i>Zeolite</i> .....	46
4.7.5	Perbandingan Beban Dengan <i>Particulate</i> Pada 30% <i>Zeolite</i> .....	47
4.7.6	Perbandingan Beban Dengan <i>Particulate</i> Pada 15% <i>Zeolite</i> .....	48
4.8	Hubungan Emisi NOx Dengan Standar Marpol.....	49
4.9	Hubungan Emisi <i>Particulate Matter</i> Dengan Standar Marpol.....	50

## **BAB V**

KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1    Kesimpulan.....	53
5.2    Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN.....	56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Potensi Pengurangan NOx.....	8
Gambar 2.2	Prinsip Operasi SCR.....	9
Gambar 2.3	Total jumlah kapal dengan system SCR diinstal tiap tahun.....	10
Gambar 2.4	Berbagai tipe kapal yang menggunakan SCR.....	11
Gambar 2.5	Emisi NOx yang diijinkan dari mesin diesel.....	17
Gambar 2.6	Letak laut Baltik .....	18
Gambar 3.1	Metodologi Penelitian.....	20
Gambar 4.1	Engine Yanmar TF 85 MH-di.....	23
Gambar 4.2	<i>Zeolite</i> .....	27
Gambar 4.3	Proses Penghancuran <i>Zeolite</i> .....	28
Gambar 4.4	Proses Pengukuran Presentase <i>Zeolite</i> ..... .....	28
Gambar 4.5	Lubang pada kaleng.....	29
Gambar 4.6	Pencampuran <i>Zeolite</i> dengan tanah liat.....	30
Gambar 4.7	Pemasangan Filter pada kaleng.....	30
Gambar 4.8	Kaleng dimasukkan kedalam pipa.....	31
Gambar 4.9	Alat ECOM.....	32
Gambar 4.10	Alat <i>Particulate</i> Monitor.....	33
Gambar 4.11	Proses pengujian emisi NOx.....	34
Tabel 2.1	MARPOL ANNEX VI.....	5

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Torsi vs RPM.....	24
Grafik 4.2SFOC vs Daya.....	25
Grafik 4.3 Daya vs RPM.....	26
Grafik 4.4 Beban vs NOx tidak menggunakan alat.....	35
Grafik 4.5 Beban vs NOx.....	36
Grafik 4.6 Beban vs NOx Pada 60%.....	37
Grafik 4.7Beban vs NOx Pada 45%.....	38
Grafik 4.8Beban vs NOx Pada 30%.....	39
Grafik 4.9 Beban vs NOx Pada 15%.....	40
Grafik 4.10Beban vs Temperatur.....	41
Grafik 4.11 Beban vs PM tidak menggunakan alat.....	43
Grafik 4.12Beban vs PM menggunakan alat.....	44
Grafik 4.13Beban vs PM pada 60%.....	45
Grafik 4.14Beban vs PM pada 45%.....	46
Grafik 4.15Beban vs PM pada 30%.....	47
Grafik 4.16Beban vs PM pada 15%.....	48

*“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Polusi udara diperkirakan akan membunuh lebih dari 6,5 juta jiwa di seluruh dunia pada 2050, dua kali lebih banyak dari jumlah kematian akibat polusi udara pada saat ini. Dari semua penyebab polusi udara yang ada, emisi transportasi terbukti sebagai penyumbang pencemaran udara tertinggi di Indonesia, yakni sekitar 85 persen. (lifestyle.bisnis.com)

Mesin diesel kapal merupakan sebuah mesin yang terbukti handal dari segi fungsi dan efisien dalam penggunaan bahan bakar. Namun salah satu kekurangan dari mesin diesel adalah terdapat emisi pada gas buang yang berupa SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan CO. Dapat membahayakan kesehatan dan merusak kualitas udara serta hujan asam (HNO<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yang dapat mengakibatkan kanker. Gas CO yang dapat menyebabkan kematian apabila terhirup secara langsung menyebabkan bertambahnya suhu bumi akibat pertambahan CO<sub>2</sub> atau global warming. Buruknya kondisi kualitas udara akibat gas buang yang dikeluarkan mesin diesel kapal mengakibatkan *International Maritime Organization* (IMO) mengatur standar minimum emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dalam ANNEX VI.

Untuk mengatasi emisi udara yang dihasilkan dari *diesel engine* salah satunya menggunakan sistem SCR (*Selective Catalytic Reduction*). Sistem SCR yang konvensional menggunakan bahan urea dan amonia sebagai bahan injektornya. Namun, bahan urea dan amonia ini masuk dalam batasan aturan MARPOL ANNEX II. Oleh karena itu, ada bahan hidrokarbon yang dapat digunakan sebagai bahan

injektor dari sistem SCR. Hidrokarbon sendiri didapatkan dari bahan bakar dari kapal yaitu solar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang sudah dipaparkan seperti di atas, maka akan terdapat rumusan masalah yang muncul diantaranya:

1. Bagaimana perbandingan emisi NO<sub>x</sub> dan *particulate matter* antara proses sistem *selective catalytic reduction* penggunaan injeksi bahan amonia dengan hidrokarbon?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini membahas karakteristik teknis dan konsep *Selective Catalytic Reduction*
2. Objek pada sistem *selectivecatalytic reduction* pada penelitian ini adalah mesin diesel
3. Tidak menganalisa segi ekonomis.
4. Pembahasan emisi hanya pada NO<sub>x</sub> dan *particulate matter* (PM).

## 1.4 Tujuan Skripsi

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengkaji karakteristik teknis sistem *Selective Ccatalytic Reduction* menggunakan bahan amonia dan hidrokarbon
2. Menguji katalis konverter dengan katalis *zeolite* injeksi amonia dan hidrokarbon untuk



menghasilkan gas buang yang kandungan NO<sub>x</sub> dan *Particulate Matter* (PM)-nya ramah terhadap lingkungan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian padatugas akhir ini adalah

1. Mengurangi kandungan NO<sub>x</sub> dan *Particulate Matter* dengan emisi gas buang dari *main engine*.
2. Memberikan alternatif penggunaan katalis konverter penurunan emisi yang murah dan efektif.

*“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Annex VI dari *International Convention for the Prevention of Pollution From Ships* (MARPOL 73/78), yang mengatur polusi udara dari kapal, memperkenalkan pendekatan bertahap untuk pengurangan emisi dari NO<sub>x</sub> dari kapal laut yang baru. Batas emisi dari Annex VI kini disebut sebagai "Tier I", sedangkan batas emisi masa depan yang disebut "Tier II" dan "Tier III". Batas emisi NO<sub>x</sub> di MARPOL Annex VI dirangkum dalam Tabel 2.1

Tier	Effective Date	NO <sub>x</sub> Limit (g/kWh)		
		N<130	130≤N<2000	N>2000
Tier I**	2000	17	45*n <sup>0.2</sup>	9.8
Tier II	2011	14.4	44*n <sup>0.2</sup>	7.7
Tier III***	2016	3.4	9*n <sup>0.2</sup>	1.96

"n" refers to rated engine speed (rpm)

\* Excluding ships with marine diesel engines less than 130 kW or ships solely for emergency purposes

\*\* Annex VI entered into force in 2004, but it applies retroactively to new engines larger than 300 kW installed on ships on or after January 1, 2000

\*\*\* Tier III applies only in emission control areas

Tabel 2.1 MARPOL ANNEX VI

Tier I terbatas emisi NO<sub>x</sub> berlaku untuk mesin yang dibangun pada atau setelah tanggal 1 Januari 2000, atau ke mesin dibangun sebelum 1 Januari 2010 tetapi tunduk pada Tier III. Tier III berlaku untuk mesin diesel yang terpasang pada kapal dibangun pada atau setelah tanggal 1 Januari 2016, atau mesin tunduk pada konversi besar pada atau setelah tanggal 1 Januari 2016. (Azzara, Alyson, 2014)

## 2.2 Sejarah SCR

*Selective Catalytic Reduction* (SCR) menggunakan amonia sebagai agen penurunan, telah dipatenkan di Amerika Serikat oleh *Engelhard Corporation* di tahun 1957. Sejak saat itu ribuan sistem telah diinstal pada aplikasi, dari pembangkit listrik ke lokomotif untuk mobil. SCR berfungsi dengan menggabungkan amonia ( $\text{NH}_3$ ), biasanya berasal dari larutan urea, dengan katalis dipasang pada monolit keramik, untuk mengurangi  $\text{NO}_x$ , membentuk nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Sementara SCR pada awalnya dikembangkan untuk mengontrol  $\text{NO}_x$  emisi dari sumber stasioner, sistem SCR telah kemudian terbukti efektif dalam mengurangi emisi diesel dalam berbagai aplikasi *mobile*, termasuk truk *heavy-duty* dan bus, kendaraan penumpang diesel, dan aplikasi *offroad*. Hari ini, SCR digunakan di jutaan kendaraan dan pembangkit listrik dengan kapasitas kumulatif setengah juta megawatt (MW) di seluruh dunia.

## 2.3 Pengertian SCR

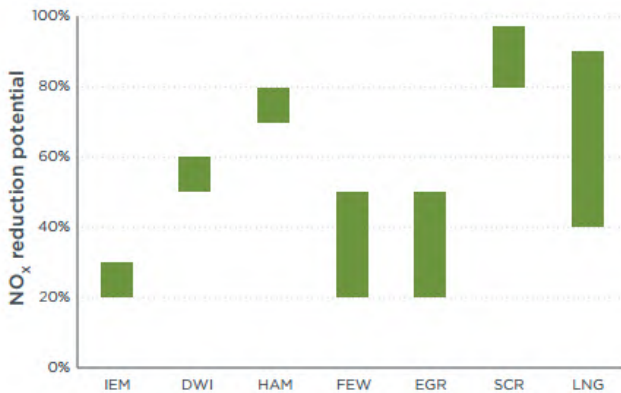
Istilah *Selective Catalytic Reduction* (SCR) digunakan untuk menggambarkan reaksi kimia di mana nitrogen oksida berbahaya ( $\text{NO}_x$ ) di gas buang diubah menjadi air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan nitrogen ( $\text{N}_2$ ). Dalam kombinasi dengan teknologi mesin internal, seperti resirkulasi gas buang (EGR), emisi nitrogen oksida yang rendah dapat dicapai dengan konsumsi bahan bakar rendah.

Cara untuk mengurangi emisi nitrogen oksida Dalam rangka memenuhi standar emisi yang makin ketat di seluruh dunia, produsen mesin dipaksa tidak hanya untuk secara substansial mengurangi emisi partikulat (PM), tetapi juga emisi nitrogen oksida.

Prinsip operasi dari sistem SCR katalitik pengurangan selektif menjelaskan cara untuk meminimalkan jumlah nitrogen oksida yang terkandung dalam gas buang. Sebuah solusi urea disuntikkan ke dalam aliran gas buang hulu SCR *catalytic converter*, sehingga menghasilkan nitrogen dan air selama katalitik selektif proses reduksi. (Dr. Holger.2014)

*Selective Catalytic Reduction* (SCR) menggunakan ammonia sebagai agen pereduksi telah dipatenkan di Amerika Serikat oleh *Engelhard Corporation* di tahun 1957. Sejak saat itu ribuan sistem telah diinstal pada aplikasi darat, dari pembangkit listrik ke lokomotif dan untuk mobil. *Selective Catalytic Reduction* (SCR) berfungsi dengan menggabungkan ammonia ( $\text{NH}_3$ ), biasanya berasal dari larutan urea, dengan katalis dipasang di monolit keramik, untuk mengurangi  $\text{NO}_x$ , membentuk nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Sementara SCR pada awalnya dikembangkan untuk mengendalikan  $\text{NO}_x$  emisi dari sumber tidak bergerak. (Azzara, Alyson. 2014)

*Selective Catalytic Reduction* (SCR) adalah satu-satunya teknologi yang saat ini tersedia untuk mencapai sesuai dengan Tier III standar untuk semua mesin yang berlaku (Gambar 2.1). SCR telah diakui sebagai salah satu yang paling menjanjikan cara mengendalikan  $\text{NO}_x$  oleh berbagai negara. Enam peraturan Negara dengan menggunakan peraturan SCR mampu mengurangi emisi  $\text{NO}_x$  lebih dari 90% dalam kondisi tertentu. Selanjutnya, SCR terbukti populer dengan produsen peralatan karena memungkinkan kontrol  $\text{NO}_x$  dengan sedikit atau tidak ada hukuman efisiensi bahan bakar, dan kadang-kadang keuntungan bersih.



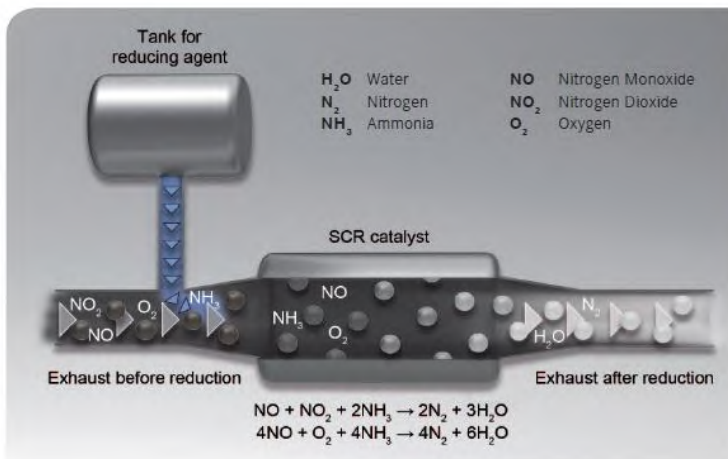
Gambar 2.1 Potensi pengurangan NO<sub>x</sub>

## 2.4 Manfaat SCR

Manfaat tambahan dari sistem SCR adalah pengurangan emisi partikulat hingga 60 persen. Ini tergantung pada standar emisi yang berlaku - kebutuhan untuk tambahan *Diesel Particulate Filter* (DPF) dalam sistem pembuangan dapat dihilangkan.

## 2.5 Prinsip Operasi SCR

Dalam kasus reduksi selektif katalitik, sebuah *catalytic converter* mengkonversi nitrogen oksida yang terkandung dalam gas buang menjadi uap air dan nitrogen. Untuk tujuan ini, zat pereduksi terus disuntikkan ke dalam aliran gas buang menggunakan modul pengukuran. Dalam aliran gas buang, cairan bereaksi dalam sepersekian detik untuk menghasilkan amonia (NH<sub>3</sub>). Senyawa kimia ini kemudian mengubah nitrogen oksida dalam SCR *catalytic converter* (Gambar 2.2).

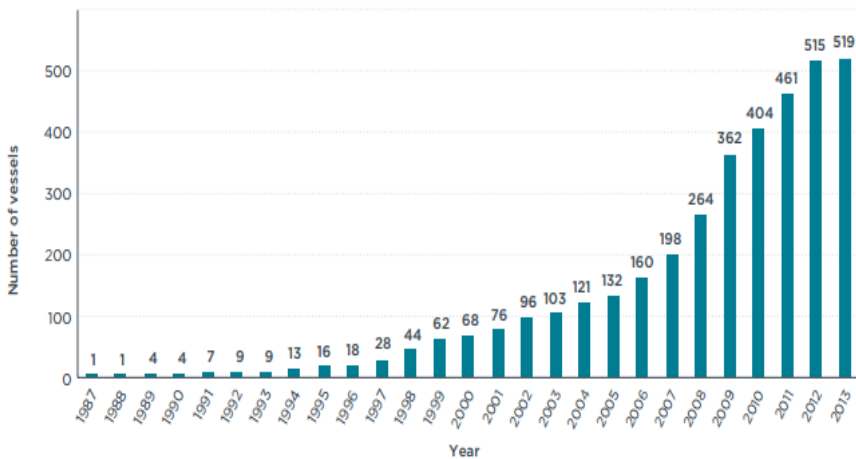


Gambar 2.2 Prinsip Operasi SCR

Zat pereduksi non-beracun dan tidak berbau adalah banyak digunakan dalam aplikasi kendaraan komersial dan telah tersedia di seluruh Eropa sejak 2004, dan Amerika Serikat sejak 2010. Hal ini dipasarkan di Eropa di bawah merek dari "Ad Blue". Ini terdiri larutan 32,5 persen dari kadar ekstra murni urea di de-terionisasi air. Jumlah penurunan pereduksi ditambahkan sekitar 5-7 persen konsumsi bahan bakar. Hal ini disimpan sebagai cairan kedua dalam tangki terpisah dan dimasukkan ke pengukuran perangkat melalui jaringan pipa. Untuk memastikan tinggi tingkat nitrogen oksida mengkonversi lebih dari 90 persen dalam beberapa kasus di setiap negara bagian operasi dari sistem propulsi, kontrol elektronik sistem menghitung jumlah yang tepat untuk mengurangi bahan kebutuhan berdasarkan parameter mesin seperti suhu operasi dan kecepatan mesin.

## 2.6 Perkembangan SCR

Saat ini SCR adalah teknologi yang sudah terbukti dengan lebih dari 500 aplikasi di sektor kelautan pada tahun 2013 (Gambar 2.3). Sebuah survey dari operator kapal laut menghasilkan data jumlah kapal, berbagai jenis mesin, bahan bakar, dan produsen peralatan saat ini menggunakan atau mengembangkan teknologi SCR. Secara keseluruhan, sekitar 1.250 sistem SCR telah diinstal pada kapal laut dalam dekade terakhir. Kapal-kapal dengan *track record* terpanjang telah mengumpulkan ke atas dari 80.000 jam operasi selama dua dekade terakhir. (Azzara, Alyson. 2014)

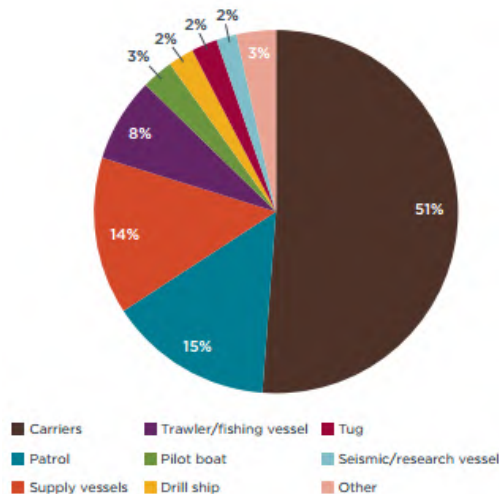


Gambar 2.3 Total jumlah kapal dengan system SCR diinstal tiap tahun



## 2.7 Aplikasi SCR

*Selective Catalytic Reduction* (SCR) telah digunakan pada berbagai kapal dan mesin jenis menggunakan berbagai bahan bakar. Gambar 2.4 menunjukkan berbagai jenis kapal saat ini menggunakan SCR, termasuk feri, kapal *tanker*, kapal container, kapal kargo, kapal kerja, kapal pesiar, dan kapal angkatan laut. Sekitar setengah dari kapal SCR dilengkapi dikategorikan sebagai pembawa (Menggabungkan Ropax / RoRo / kargo / ferry / kecepatan tinggi / catamaran / kapal kontainer / RoRo kargo / cruise feri / tanker / kapal tanker LPG / tanker kimia), dengan patroli (15%) dan kapal pasokan (14%) menjadi kedua dan ketiga yang paling lazim



Gambar 2.4 Berbagai tipe kapal yang menggunakan SCR

## 2.8 Katalis Zeolite

*Zeolite* merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dengan kerangka tiga dimensi. Kerangka dasar struktur *zeolite* terdiri dari unit-unit tetrahedral  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  yang saling berhubungan melalui atom O dan didalam struktur tersebut  $\text{Si}_4^+$ . *Zeolite* menurut bentuknya dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu *zeolite* alam dan *zeolite* sintesa. *Zeolite* alam berasal dari batu-batuan yang komposisi unsur-unsur penyusunannya berbeda-beda menurut asal batuan tersebut. Sedangkan *zeolite* sintesa adalah *zeolite* yang dibuat dengan memanipulasi struktur, besar pori-pori, densitas dan perbandingan alumina silica. (Agus Santoso, 2002)

Pada dasarnya *zeolite* proses katalitiknya terjadi dalam celah-celah antar kristal dan ukuran pori-pori mempengaruhi reaksi katalitik karena pada tempat tersebut terjadi difusi reaktan dan produk. Pada reaksi hidrokarbon secara umum, lebih dipilih *zeolite* dengan ukuran pori-pori yang kecil dan yang menjadi pertimbangan dipilihnya *zeolite* sebagai katalis dalam SCR ialah harga *zeolite* mentah yang sangat ekonomis dan murah. Komposisi dan struktur kimia *zeolite* pada umumnya antara lain:

• $\text{SiO}_2$	=	61,5 - 73,93%
• $\text{Al}_2\text{O}_3$	=	9,28 - 13,22%
• $\text{MgO}$	=	0,02 - 0,07%
• $\text{Na}_2\text{O}$	=	0,00 - 0,07%
• $\text{P}_2\text{O}_5$	=	0,01 - 0,11%
• $\text{TiO}_2$	=	0,07 - 0,63%
• $\text{Fe}_2\text{O}_3$	=	0,55 - 4,11%
• $\text{CaO}$	=	0,96 - 2,6%
• $\text{K}_2\text{O}$	=	0,24 - 6,17%

Sedangkan sifat-sifat yang dimiliki *zeolite* adalah:

- Penyerap dan penyaring molekul
- Sebagai katalisator
- Penukar ion bersifat basa dan dapat bersifat asam jika dikehendaki
- Menyerap air

## **2.9 Katalis Dengan Mineral Lempung**

Setelah mengalami dekomposisi mineral silikat primer menghasilkan mineral lempung dan sebagai mineral silikat sekunder, berupa Al-silikat yang sebagian Al-nya diganti Fe dan Mg, dan sedikit sekali mineral lain seperti felsapat, pirit dan lain-lain sebagai campuran. Mineral lempung terdapat dalam tanah liat dalam bentuk butir yang sangat penting yaitu:

- Golongan kaolinite (asal kata kauling = bukit tinggi dekat Yauchan Fu di Tiongkok, tempat pertama kali mineral ini ditemukan).
- Golongan montmorillonit (asal kata Montmorillon di Perancis, dimana pertama kali ditemukan mineral ini sebagai salah satu mineral terpenting)

## **2.10 Parameter *Performance* (Unjuk Kerja)**

*Performance* dari suatu mesin diesel merupakan indikasi dari tingkat keberhasilan mesin diesel merubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi kerja mekanis yang berguna.

### **1. Daya**

Daya Output mesin merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa mesin. Pengertian daya adalah besarnya kerja motor selama kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\text{Eff Gen} \times \text{Eff Slip}}$$

Dimana ; P= Daya (kW)  
V = Tegangan listrik (Volt)  
I = Arus listrik (Ampere)  
Cos  $\phi$  = 0,9  
Eff Gen= Efisiensi generator (0,85)  
Eff Slip= Efisiensi Slip (%)

## 2. *Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)*

*Specific Fuel Oil Consumption*(SFOC) atau konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah selang waktu tertentu.

$$\text{FCR} = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana ; FCR = Laju aliran bahan bakar (gr/h)  
 $\rho$  = Massa jenis bahan bakar (gr/m<sup>3</sup>)  
v = Volume bahan bakar (m<sup>3</sup>)  
t = Waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml (h)

$$\text{SFOC} = \frac{\text{FCR}}{P}$$

Dimana ; SFOC = Konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)  
FCR= Laju aliran bahan bakar (gr/h)  
P = Daya (kW)

### 3. Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2\pi \times rpm}$$

Dimana, T = Torsi (Nm)  
P = Daya (kW)  
rpm = Putaran Motor Diesel (RPM)

### 4. BMEP (*Break Main Effective Pressure*)

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif fluida kerja terhadap torak sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana, BMEP = Tekanan efektif rata-rata (N/m<sup>2</sup>)  
P = Daya (kW)  
z = Konstanta 2 untuk 4 stroke  
V = volume langkah (m<sup>3</sup>)  
I = Jumlah Silinder

### 5. Effisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Effisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu.

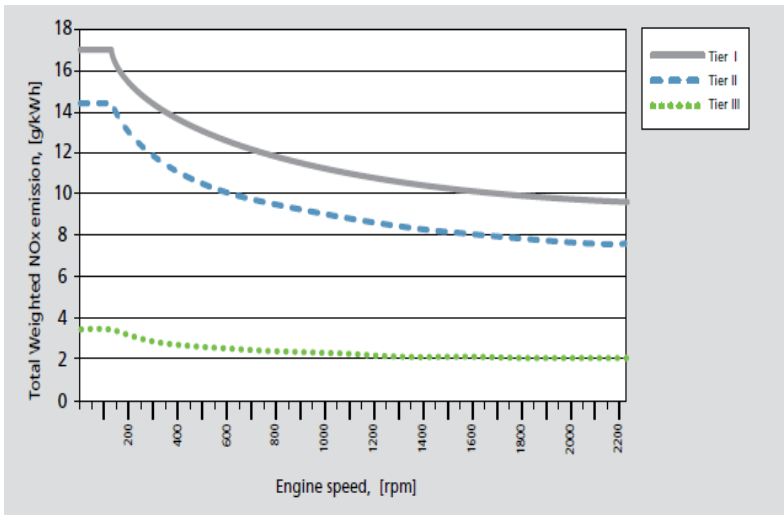
$$\eta_{th} = \frac{P \times 100000}{FCR \times LHV} \times 100\%$$

Dimana,  $\eta_{th}$  = Effisiensi Thermal (%)  
 $P$  = Daya (kW)  
 $FCR$  = Laju aliran Bahan Bakar (gr/h)  
 $LHV$  = *low heating value* (J/kg)

## 2.11 Standar Pengukuran

Standard berdasarkan MARPOL ANNEX VI  
 Regulasi 13 mengenai emisi NOx :

- Tier I
  1. 17.0 g/kWh ketika kurang dari 130 rpm
  2.  $45.0 \times n^{(-0,2)}$  g/kWh ketika n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
  3. 9.8 g/kWh ketika engine putaran 2000 rpm atau lebih
- Tier II
  1. 14.4 g/kWh ketika kurang dari 130 rpm
  2.  $44 \times n^{(-0,23)}$  g/kWh ketika n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
  3. 7.7 g/kWh ketika putaran engine 2000 rpm atau lebih
- Tier III
  1. 3.4 g/kWh ketika kurang dari 130 rpm
  2.  $9 \times n^{(-0,2)}$  g/kWh ketika n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
  3. 2.0 g/kWh ketika putaran engine 2000 rpm atau lebih



Gambar 2.5 Gambar diatas menunjukkan emisi NOx yang diijinkan dari mesin diesel

Sulfur Oksida (SOx) dan emisi Particulate Matter dari kapal akan pada umumnya dikendalikan dengan menetapkan batas pada kandungan sulfur dari minyak bahan bakar laut sebagai berikut. Kandungan sulfur pada bahan bakar apapun yang digunakan di kapal tidak akan melebihi batas berikut:

- 4,50% m/m sebelum 1 Januari 2012
- 3,50% m/m setelah 1 Januari 2012
- 0,50% m/m setelah 1 Januari 2020

Persyaratan dalam Area Pengendalian Emisi Untuk tujuan peraturan, Emisi Area kontrol meliputi:

- Daerah Laut Baltik sebagaimana didefinisikan dalam peraturan 1.11.2 dari Annex I, Laut Utara sebagai didefinisikan dalam Regulation 5 (1) (f) dari Annex V
- Setiap wilayah laut lainnya, termasuk daerah pelabuhan, ditunjuk oleh Organisasi sesuai dengan kriteria dan prosedur ditetapkan dalam Appendix III

Annex. Sementara kapal yang beroperasi dalam suatu kontrol lokasi emisi, Kandungan belerang pada bahan bakar yang digunakan di kapal tidak akan melebihi batas berikut:

- 1,50% m/m sebelum 1 Juli 2010
- 1,00% m/m dan setelah 1 Juli 2010
- 0,10% m/m dan setelah 1 Januari 2015



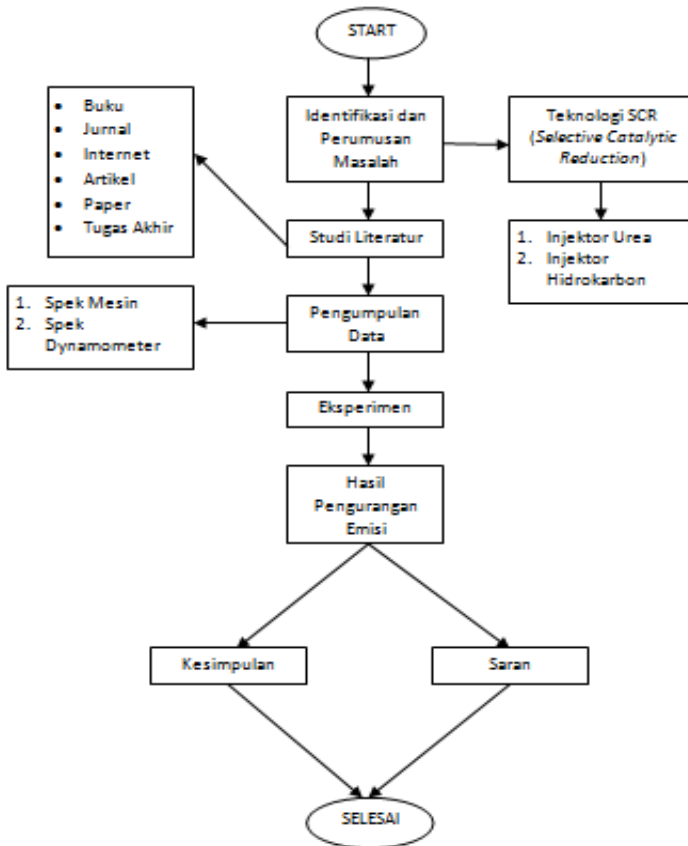
Gambar 2.6 Gambar diatas menunjukkan letak laut Baltik yang harus memenuhi peraturan kandungan belerang yang lebih sedikit daripada wilayah yang lainnya.



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Ulasan permasalahan yang telah disampaikan sebelumnya akan diselesaikan dengan metode penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode eksperimen

### **1. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Melakukan pengidentifikasian sistem *Selective Catalytic Reduction* dari segi teknologi serta perbandingan antara bahan injektor urea dengan hidrokarbon.

### **2. Studi Literatur**

Melakukan studi literatur untuk menunjang teori maupun informasi guna mengkaji karakteristik teknis *Selective Catalytic Reduction*. Literatur yang dipakai untuk menunjang pengerjaan tugas akhir ini adalah buku, jurnal, internet, artikel, paper, dan tugas akhir.

### **3. Pengumpulan Data**

Melakukan pengumpulan data dan informasi melalui data yang ada. Informasi yang didapatkan antara lain: spek Mesin dengan melakukan pengumpulan data *performance engine*

### **4. Eksperimen**

Melakukan eksperimen mesin yang ditambahkan *catalyst* pada *exhaust* gas dan mencatat hasil pengurangan emisi antara injektor amonia dan hidrokarbon. Untuk mengetahui seberapa besar emisi yang dihasilkan maka menggunakan peralatan dari Laboratorium Energi ITS yaitu ECOM dan Particulate Monitor

**5. Hasil Pengurangan Emisi**

Setelah praktikum dilaksanakan, maka akan dapat terlihat perbandingan pengurangan emisi menggunakan injektor amonia dan solar.

**6. Kesimpulan**

Didapatkan kesimpulan manakah injektor yang efektif untuk tipe mesin yang dilakukan percobaan.

**7. Saran**

Berisi saran dari hasil praktikum agar dapat mengurangi emisi dari mesin maka menggunakan bahan injektor yang lebih tepat.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

*Engine* yang digunakan untuk praktikum adalah *engine* Yanmar TF 85 MH-di dengan rincian spesifikasi dibawah ini:



Gambar 4.1 Engine Yanmar TF 85 MH-di

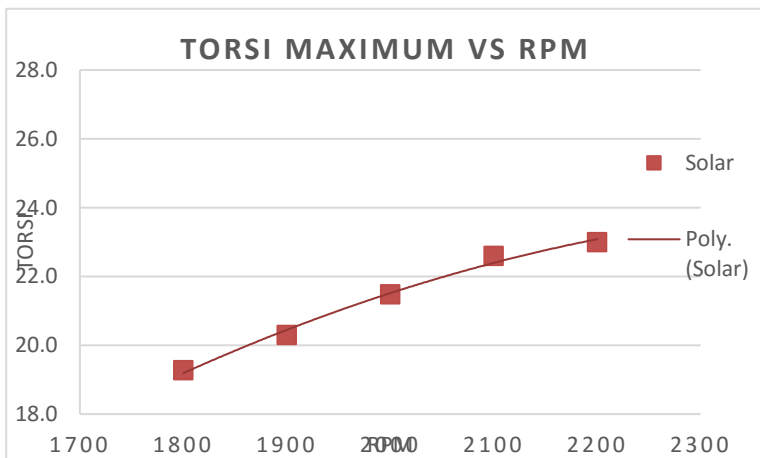
Spesifikasi Mesin Yanmar TF 85-di :

Engine Model	:	Motor Diesel 4 langkah horisontal berpendingin air
Combution	:	Langsung
No. of Cylinder	:	1
Cyl. Bore x Stroke (mm)	:	85 x 87
Displacement (cc)	:	493
Cooling System	:	Hopper
Starting System	:	Manual (engkol)
Lubrication Type	:	SAE 40
Lub. Oil Capacity (liter)	:	2,2
Fuel Tank Capacity (liter)	:	10,5

SFOC (gr/dkjam)	:	171
Fuel	:	Diesel Fuel
Dimensions (LxWxH)	:	672 x 330,5 x 496
Dry Weight (kg)	:	93
Compression Ratio	:	18

Sebelum melakukan penelitian tentang pengujian emisi dari *engine*, maka terlebih dahulu untuk melakukan unjuk kerja (*engine performance*). *Engine performance* dilakukan dengan 5 variabel putaran (RPM) dan 5 variabel pembebanan. Data-data dari hasil pengujian ditabulasikan dalam sebuah tabel dan dibuat grafik yang menyatakan hubungan antara beberapa data tersebut. Dari grafik-grafik tersebut dilakukan penganalisaan hasil dari pengujian.

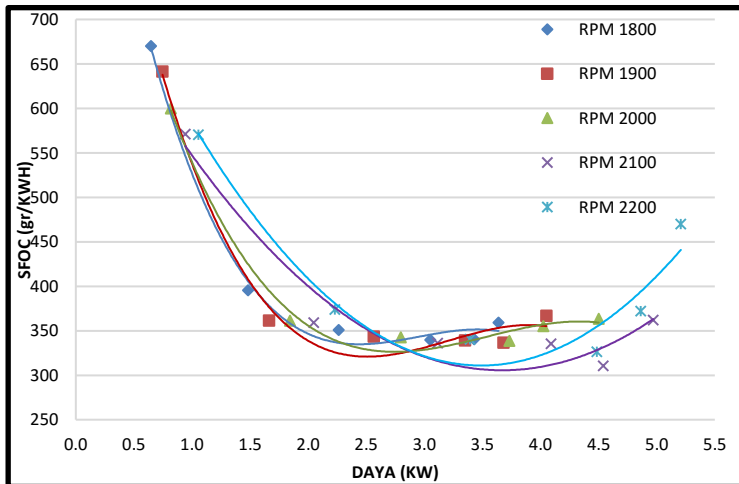
#### 4.1.Perbandingan Antara Torsi Maksimum Dengan RPM



Grafik 4.1 Torsi vs RPM

Dari grafik torsi maksimal vs rpm diatas menunjukkan bahwa torsi maksimal pada mesin berada pada rpm 2200.

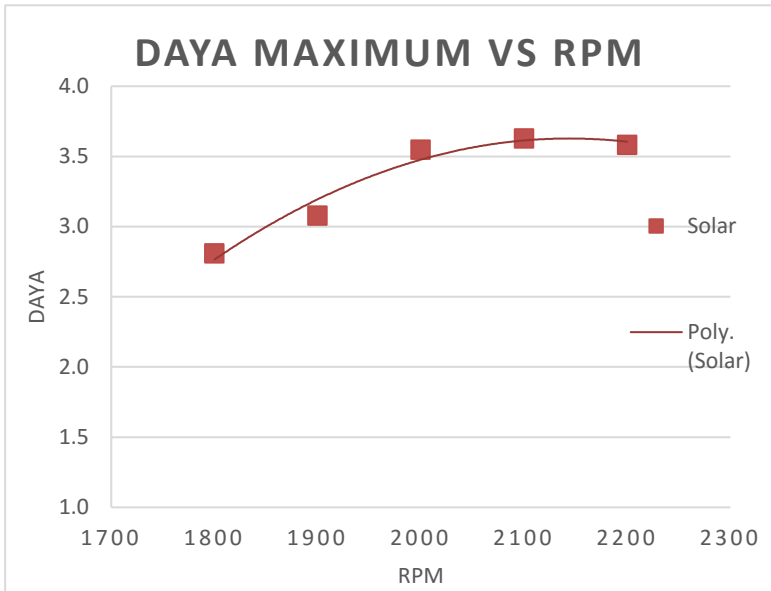
#### 4.2.Perbandingan Antara SFOC Dengan Daya Terhadap Bahan Bakar Solar



Grafik 4.2 SFOC vs DAYA

Dari grafik SFOC vs Daya dapat disimpulkan semakin tinggi rpm maka nilai SFOC yang didapatkan semakin rendah. Namun RPM 2200 SFOC mengalami peningkatan. Hal ini terjadi RPM *overload engine*. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa RPM maksimal pada mesin terdapat pada 2200.

#### 4.3 Perbandingan Antara Daya Maksimum Dengan Putaran Engine



Grafik 4.3 DAYA vs RPM

Pada grafik diatas dapat mengetahui putaran maksimal *engine* 2200 RPM mempunyai daya sebesar 3,584 kW. Setelah mengetahui daya maksimum pada mesin maka selanjutnya untuk mencari persentase daya mesin pada 75% dan 50%. Maka dilakukan pencarian dengan mengukur pada setiap beban. Setelah dilakukan pengukuran maka didapatkan hasil persentase daya 100%, 75%, dan 50%.



#### 4.4. Pembuatan Catalyst

Proses pembuatan catalyst dengan mungumpulkan alat dan bahan yang dibutuhkan terlebih dahulu diatnaranya adalah:

- *Zeolite*
- Tanah liat
- Air
- Blender (alat penghancur)
- Bor
- Kaleng
- Pipa Besi



Gambar 4.2 *Zeolite*

##### 4.4.1 Proses Penghancuran *Zeolite*

Karena *zeolite* awal masih berbentuk batu kecil maka harus dihancurkan / dilembutkan menjadi bubuk terlebih dahulu. Hal ini bertujuan agar pada saat pencampuran dengan tanah liat dapat menyatu.



Gambar 4.3. Proses penghancuran zeolite

#### 4.4.2 Pengukuran Persentase Zeolite Dan Tanah Liat

Penentuan persentase 60% zeolite, 45% zeolite, 30% zeolite, dan 15% Zeolite dengan menggunakan alat ukur digital. Hal ini bertujuan agar dapat membandingkan hasil uji emisi tiap presentase zeolite. Begitu juga dengan tanah liat dengan presentase 40% tanah liat, 55% tanah liat, 70% tanah liat, dan 85% tanah liat.



Gambar 4.4. Proses pengukuran persentase zeolite

#### 4.4.3 Proses Pelubangan Kaleng

Kaleng akan dilubangi menggunakan alat bor dengan ukuran setiap lubang 1 cm. Pelubangan pada kaleng dilakukan agar membuat cetakan campuran *zeolite* dengan tanah liat. Lubangan nantinya berfungsi sebagai jalannya gas buang dari mesin yang telah diinjeksikan oleh amonia atau hidrokarbon.



Gambar 4.5. Terdapat lima lubang pada kaleng

#### 1.4.4 Proses Pencampuran *Zeolite* Dengan Tanah Liat

Pencampuran antara *zeolite* dengan tanah liat menggunakan sedikit air. Prosentase *zeolite* dan tanah liat yang sudah diukur dicampur dengan sedikit air. Contoh pencampuran yaitu 60% *zeolite* dengan 40% tanah liat. Setelah diberi sedikit air maka selanjutnya menempatkan campuran ke dalam kaleng yang sudah dilubangi dengan 5 lubang dengan di selipkan bulpoint dengan tujuan ketika adonan campuran *zeolite* dan tanah liat dicampur sudah membentuk 5 lubang. Kemudian dilakukan penjeuman selama 3 hari.



Gambar 4.6. Pencampuran zeolite dengan tanah liat

#### 1.4.5 Proses Pemasangan Filter Pada Kaleng

Setelah penjemuran *zeolite* maka selanjutnya pemasangan filter. Hal ini berfungsi ketika *engine* sedang beroperasi dengan tekanan yang tinggi tidak menghancurkan campuran zeolite dengan tanah liat.



Gambar 4.7. Pemasangan Filter Pada Kaleng

#### **1.4.6 Proses Pemasukan Kaleng Kedalam Pipa**

Karena kaleng yang dipakai materialnya tidak bisa dilas dengan pipa pengait ke muffler sehingga kaleng yang sudah tercampur zeolite dengan tanah liat harus dimasukkan di pipa. Setelah kaleng dimasukkan ke dalam pipa maka selanjutnya pengelasan penutup dengan pipa yang kecil. Diameter pipa yang kecil sedikit lebih besar dengan diameter pipa muffler. Pipa yang kecil telah dilas dengan 4 mur agar pipa yang kecil pada saat mesin beroperasi tidak bergetar.



Gambar 4.8. Kaleng dimasukkan ke dalam pipa

#### 4.5 Proses Pengujian Emisi

Pengujian emisi dilakukan untuk mengetahui berapa besar kandungan NOx dan PM (*Particulate Matter*) setelah di injeksikan amonia atau hidrokarbon. Sehingga membutuhkan 2 alat untuk mengetahui kandungan NOx dan *Particulate Matter* (PM). Alat yang digunakan untuk mengetahui kandungan NOx adalah ecom sedangkan alat yang digunakan untuk mengetahui kandungan *particulate matter* adalah *particulate monitor*.

Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi yaitu diantaranya 60% zeolite, 45% zeolite, 30% zeolite, dan 15%zeolite. Sedangkan baeban terdapat variasi 3500 watt, 2600 watt, dan 1700 watt. Pada injeksi *selective catayltic reduction* terdapat 2 variasi yaitu amonia dan hidrokarbon.



Gambar 4.9. Alat ECOM dari Lab. Energi ITS untuk mengukur kandungan NOx.



Gambar 4.10 Alat *particulate monitor* dari Lab. Energi ITS untuk mengukur kandungan *particulate matter*.

#### 4.6 Proses Pengujian Emisi NO<sub>x</sub>

Proses pengujian emisi NO<sub>x</sub> mempunyai beberapa variasi yaitu:

- 60% Zeolite
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml

- 45% Zeolite

- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml

- 30% Zeolite

- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml

- 15% Zeolite

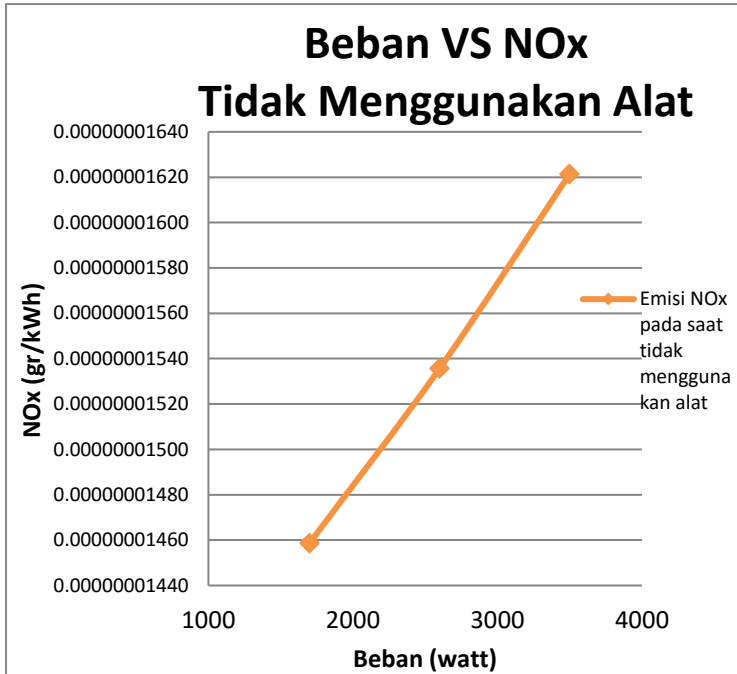
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml



Gambar 4.11 Proses pengujian emisi NOx



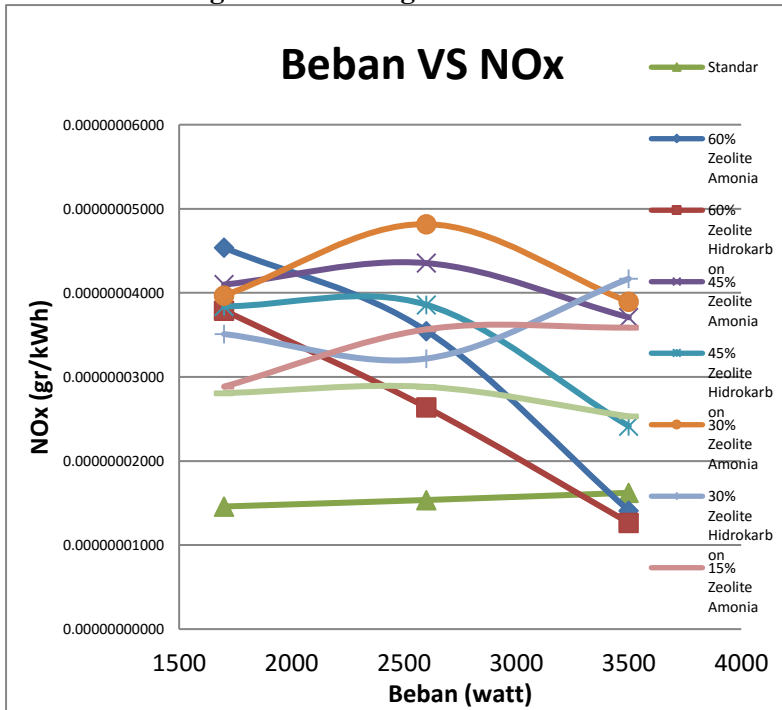
#### 4.6.1 Perbandingan Beban Dengan NOx Pada Saat Tidak Menggunakan Alat



Grafik 4.4Beban vs NOx tidak menggunakan alat

Pada saat tidak menggunakan alat emisi NOx beban 3500 watt meningkat di bandingkan pada beban 2600 watt dan 1700 watt. Hal ini dikarenakan pada saat beban 1700 watt tidak terjadi pembakaran sempurna sehingga menghasilkan emisi NOx yang besar. Jadi dapat disimpulkan semakin besar beban maka semakin besar pula emisi NOx yang dihasilkan.

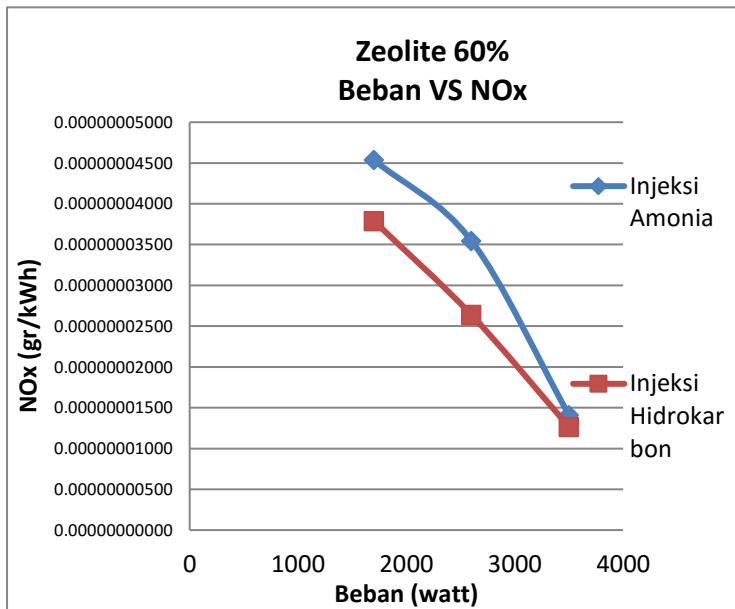
#### 4.6.2 Perbandingan Beban Dengan NOx



Grafik 4.5Beban vs NOx

Pada grafik diatas menunjukkan ketika menggunakan 60% *zeolite* pada beban 3500 watt dengan injeksi amonia maupun hidrokarbon dapat menurunkan NOx. Injeksi hidrokarbon lebih menurunkan emisi NOx sebesar 21 % daripada amonia yang hanya dapat menurunkan 12%. Namun 60% *zeolite* pada beban 2600 watt dengan injeksi amonia dan hidrokarbon tidak bisa menurunkan emisi. Hal ini dikarenakan kurang sempurnanya pembakaran ketika penginjeksian amonia maupun hidrokarbon pada saat beban 2600 watt dan 1700 watt sehingga tidak bisa mengurangi emisi NOx.

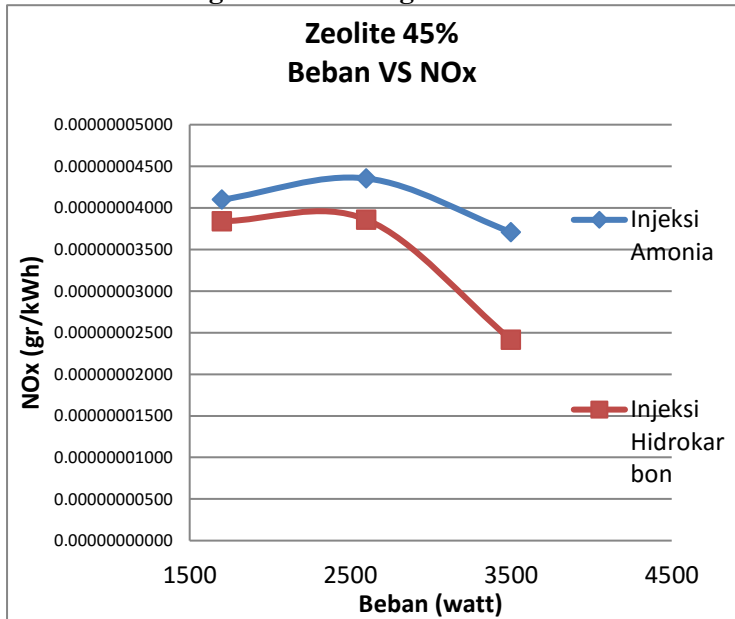
#### 4.6.3 Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 60% Zeolite



Grafik 4.6Beban vs NOx Pada 60%

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa injeksi hidrokarbon lebih dapat mengurangi emisi NOx daripada injeksi amonia. Namun pada beban 2600 watt dan 1700 watt tidak bisa mengurangi emisi karena pembakaran tidak sempurna. Dan dapat disebabkan oleh penginjeksian amonia dan hidrokarbon tidak semuanya bereaksi.

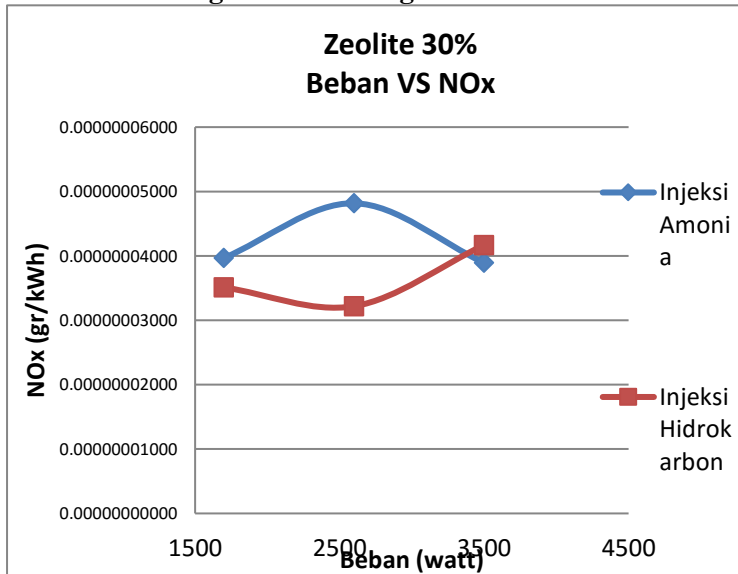
#### 4.6.4 Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 45% Zeolite



Grafik 4.7Beban vs NOx Pada 45%

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa injeksi hidrokarbon lebih dapat mengurangi emisi NOx daripada injeksi amonia. Namun pada beban 2600 watt dan 1700 watt tidak bisa mengurangi emisi karena pembakaran tidak sempurna. Dan dapat disebabkanoleh penginjeksian amonia dan hidrokarbon tidak semuanya bereaksi.

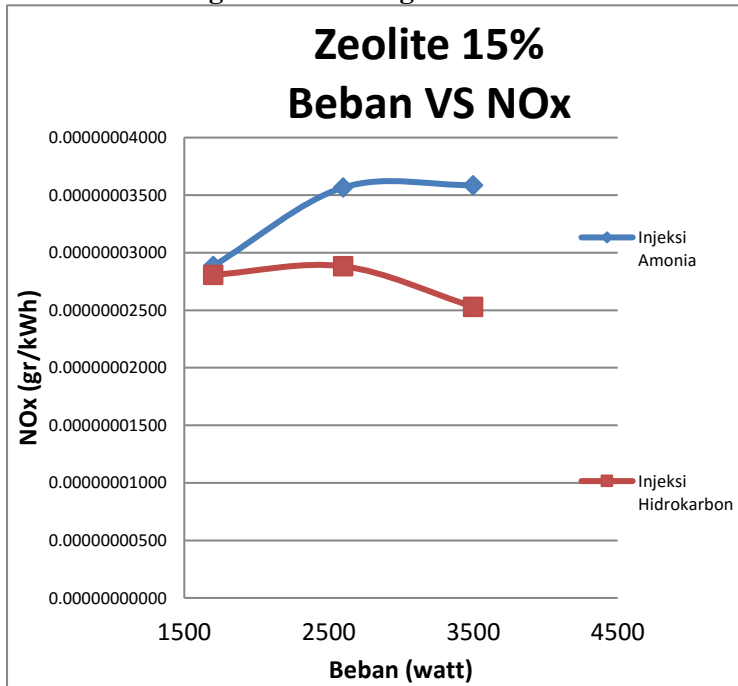
#### 4.6.5 Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 30% Zeolite



Grafik 4.8 Beban vs NOx Pada 30%

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa injeksi amonia lebih dapat mengurangi emisi NOx daripada injeksi hidrokarbon. Namun pada beban 2600 watt dan 1700 watt injeksi hidrokarbon lebih dapat mengurangi emisi daripada injeksi amonia.

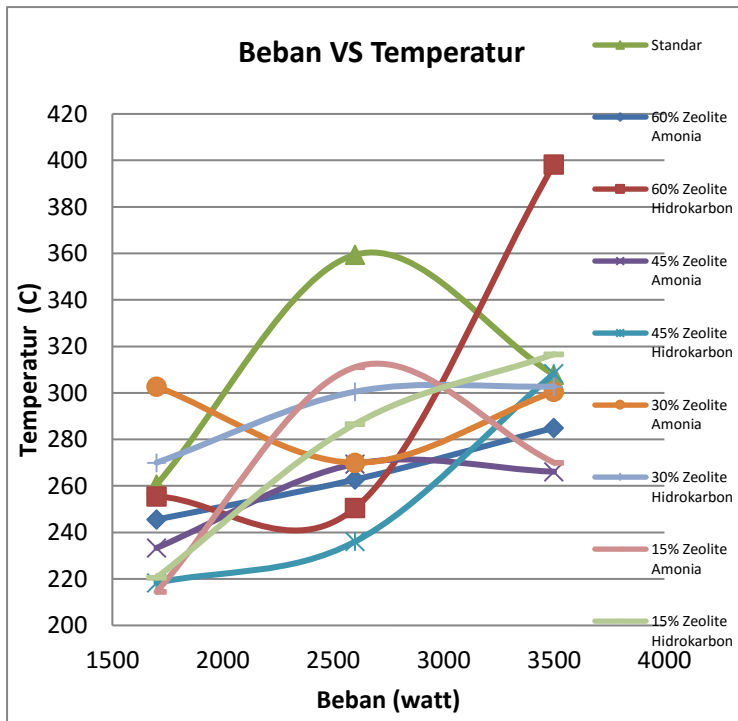
#### 4.6.6 Perbandingan Beban Dengan NOx Pada 15% Zeolite



Grafik 4.9Beban vs NOx Pada 15%

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa injeksi hidrokarbon lebih dapat mengurangi emisi NOx daripada injeksi amonia. Namun pada beban 2600 watt dan 1700 watt tidak bisa mengurangi emisi karena pembakaran tidak sempurna. Dan dapat disebabkan oleh penginjeksian amonia dan hidrokarbon tidak semuanya bereaksi.

#### 4.6.7 Perbandingan Beban Dengan Temperatur



Grafik 4.10Beban vs Temperatur

Pada grafik diatas diketahui bahwa jenis penginjeksian mempengaruhi grafik tetapi lebih menunjukkan semakin pembebanan meningkat maka temperatur gas buang akan semakin meningkat.

#### **4.7 Proses Pengujian Emisi *Particulate Matter***

Proses pengujian emisi particulate matter mempunyai beberapa variasi yaitu:

- **60% Zeolite**

- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml

- **45% Zeolite**

- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml

- **30% Zeolite**

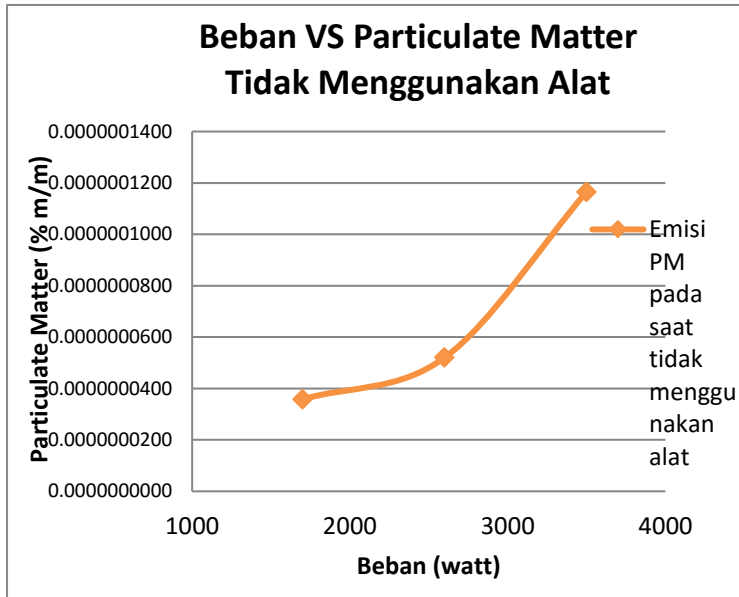
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml

- **15% Zeolite**

- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20ml
- Beban 3500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml
- Beban 1700 watt, 2200 rpm, injeksi amonia 20 ml
- Beban 2500 watt, 2200 rpm, injeksi hidrokarbon 20 ml



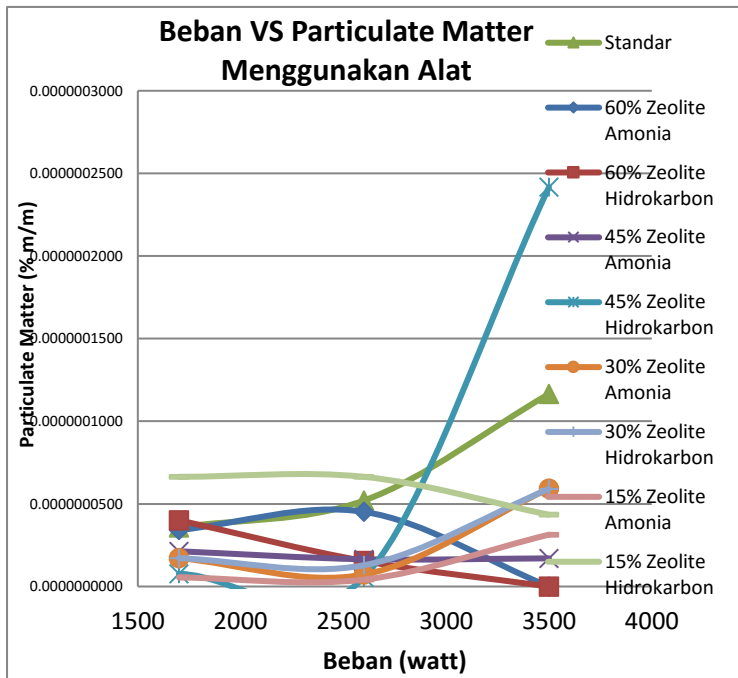
#### 4.7.1 Perbandingan Beban Dengan *Particulate Matter* Pada Saat Tidak Menggunakan Alat



Grafik 4.11 Beban vs PM tidak menggunakan alat

Pada grafik beban vs *particulate matter* diatas menunjukkan semakin tinggi pembebanan maka semakin tinggi juga *particulate matter* yang dihasilkan.

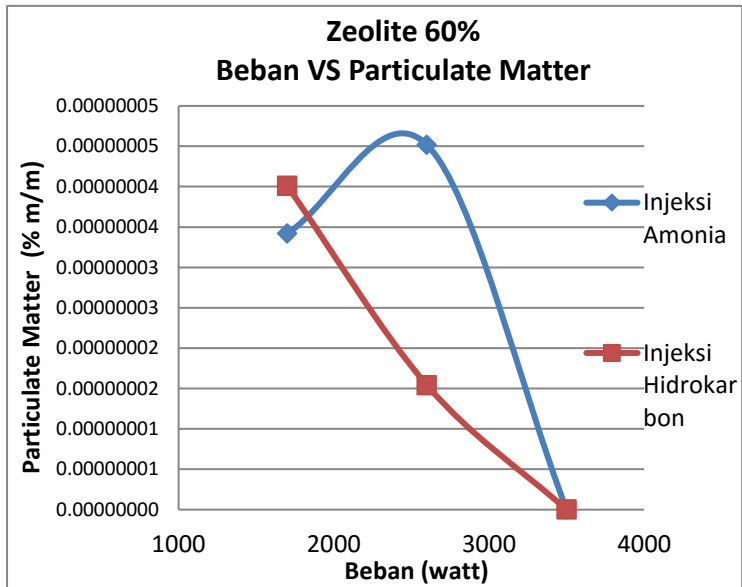
#### 4.7.2 Perbandingan Beban Dengan *Particulate Matter*



Grafik 4.12Beban vs PM menggunakan alat

Pada grafik diatas, beban vs *particulate matter* menunjukkan bahwa pada saat komposisi *zeolite* 60% dengan pembebanan 3500 watt baik injeksi amonia dan injeksi hidrokarbon sama-sama dapat mengurangi emisi *particulate metter* hingga 0 %m/m. Namun pada komposisi *zeolite* 30% dan *zeolite* 15% injeksi amonia lebih besar untuk mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi hidrokarbon

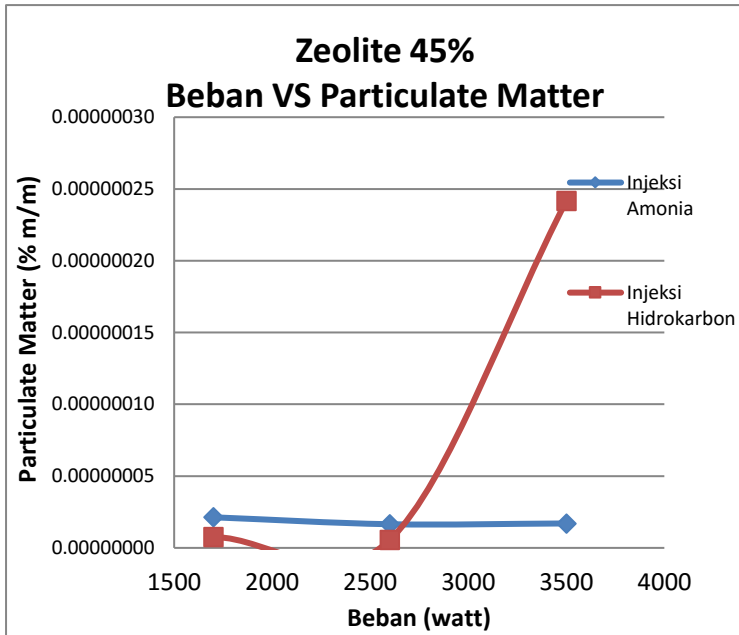
#### 4.7.3 Perbandingan Beban Dengan *Particulate Matter* Pada 60% *Zeolite*



Grafik 4.13Beban vs PM pada 60%

Pada grafik diatas, beban vs *particulate matter* dengan komposisi *zeolite* 60% menunjukkan bahwa pada saat pembebanan 3500 watt baik injeksi amonia dan injeksi hidrokarbon sama-sama dapat mengurangi emisi *particulate metter* hingga 0 %m/m. Namun pada beban 2600 watt injeksi hidrokarbon lebih mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi amonia. Sedangkan pada beban 1700 watt injeksi amonia lebih mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi hidrokarbon.

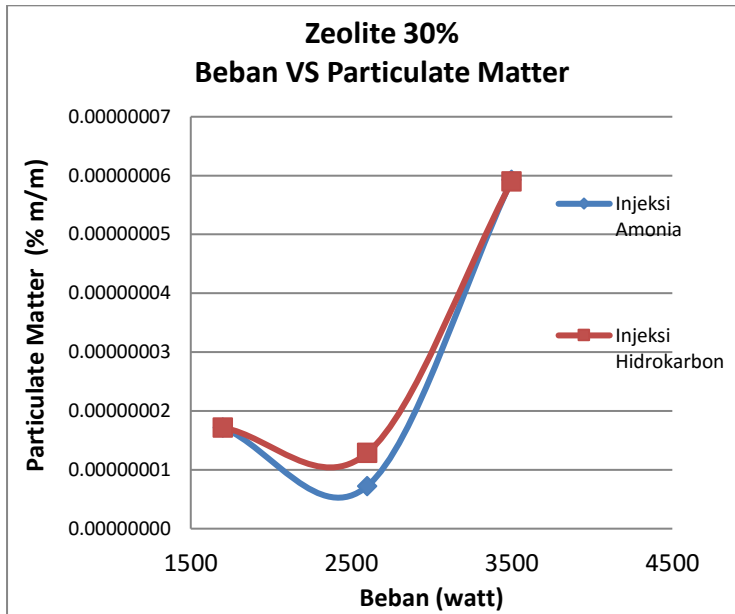
#### 4.7.4 Perbandingan Beban Dengan *Particulate Matter* Pada 45% *Zeolite*



Grafik 4.14Beban vs PM pada 45%

Pada grafik diatas, beban vs *particulate matter* dengan komposisi *zeolite* 45% menunjukkan bahwa pada saat pembebanan 3500 watt injeksi amonia lebih mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi hidrokarbon. Namun, pada beban 2600 watt dan 1700 watt injeksi hidrokarbon lebih mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi amonia.

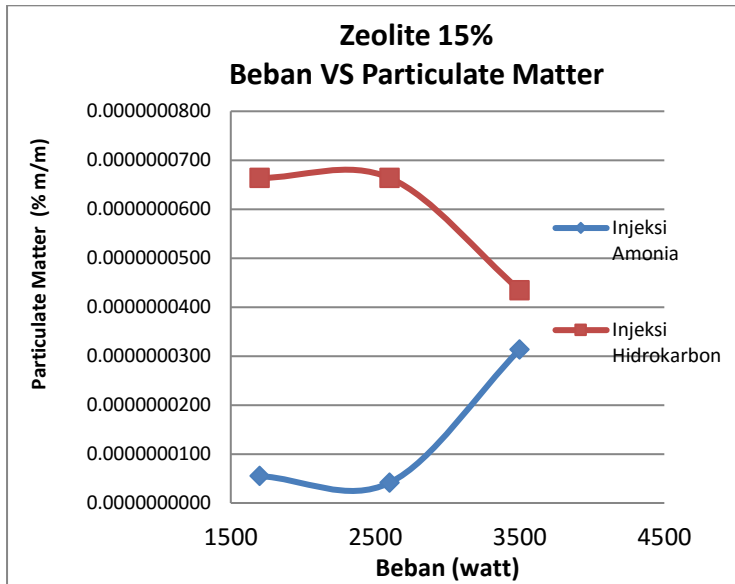
#### 4.7.5 Perbandingan Beban Dengan *Particulate Matter* Pada 30% *Zeolite*



Grafik 4.15Beban vs PM pada 30%

Pada grafik diatas, beban vs *particulate matter* dengan komposisi *zeolite* 30% menunjukkan bahwa pada saat pembebanan 2600 watt injeksi amonia lebih mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi hidrokarbon. Namun, pada beban 2600 watt dan 1700 watt injeksi amonia dan hidrokarbon berada pada pengurangan emisi *particulate matter* yang sama.

#### 4.7.6 Perbandingan Beban Dengan *Particulate Matter* Pada 15% *Zeolite*



Grafik 4.16Beban vs PM pada 15%

Pada grafik diatas, beban vs *particulate matter* dengan komposisi *zeolite* 15% menunjukkan bahwa pada saat pembebanan 3500 watt, 2600 watt, dan 1700 watt injeksi amonia lebih mengurangi emisi *particulate matter* daripada injeksi hidrokarbon.

#### 4.8 Hubungan Emisi NOx Dengan Standar Marpol

Batas emisi yang diijinkan berdasarkan MARPOL Annex VI Regulasi 13 mengenai emisi NOx :

- Tier I
  1. 17.0 g/kWh ketika kurang dari 130 rpm
  2.  $45.0 \times n^{(-0,2)}$  g/kWh ketika n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
  3. 9.8 g/kWh ketika engine putaran 2000 rpm atau lebih
- Tier II
  1. 14.4 g/kWh ketika kurang dari 130 rpm
  2.  $44 \times n^{(-0,23)}$  g/kWh ketika n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
  3. 7.7 g/kWh ketika putaran engine 2000 rpm atau lebih
- Tier III
  1. 3.4 g/kWh ketika kurang dari 130 rpm
  2.  $9 \times n^{(-0,2)}$  g/kWh ketika n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
  3. 2.0 g/kWh ketika putaran engine 2000 rpm atau lebih

Pada pengujian mesin Yanmar TF 85 MH-di yang digunakan pada kondisi standart, diketahui bahwa kandungan NOx pada 2200 rpm adalah 2,97 gram/kWh pada pembebanan 3500 watt; 3,84 gram/kWh pada pembebanan 2600 watt; dan 4,74 gram/kWh pada pembebanan 1700 watt.

Dari data-data tersebut diatas diketahui bahwa mesin Yanmar TF 85 MH-di sudah tidak memenuhi standart yang diijinkan oleh MARPOL Tier III.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, untuk penginjeksian sejumlah 20 ml hidrokarbon atau 20 ml amonia pada 2200 rpm dengan variasi pembebanan 3500 watt, 2600 watt, dan 1700 watt dengan variasi 60% *zeolite*, 45% *zeolite*, 30% *zeolite*, dan 15% *zeolite* maka diketahui kandungan NO<sub>x</sub> dari 2,32 gram/kWh sampai 14,75 gram/kWh.

Dari data setelah dilakukan metode SCR untuk mengurangi emisi NO<sub>x</sub> dapat mengurangi dengan syarat pada 60% *zeolite* dan pembebanan 3500 watt. Namun pengurangan emisi tersebut masih belum bisa memenuhi standar dari MARPOL Tier III.

Perbandingan penginjeksian antara amonia dan hidrokarbon berdasarkan pengujian masih lebih baik hidrokarbon daripada amonia untuk mengurangi emisi NO<sub>x</sub>. Hal ini dikarenakan solar merupakan bahan bakar mesin diesel sehingga tidak memerlukan tangki tambahan untuk menampungnya. Sedangkan jika memakai amonia maka harus memerlukan tangki tambahan untuk menampungnya dan juga harus memenuhi peraturan dari MARPOL ANNEX II. Selain itu solar lebih ramah terhadap mesin diesel, hal ini dapat diketahui selama pengujian penginjeksian terhadap solar tidak menimbulkan asap yang menyengat daripada menggunakan penginjeksian amonia.

#### **4.9 Hubungan Emisi Particulate Matter Dengan Standar Marpol**

Batas emisi yang diijinkan berdasarkan MARPOL Annex VI Regulasi 13 mengenai emisi *particulate matter* adalah

- 1,50% m/m sebelum 1 Juli 2010
- 1,00% m/m dan setelah 1 Juli 2010
- 0,10% m/m dan setelah 1 Januari 2015



Pada pengujian mesin Yanmar TF 85 MH-di yang digunakan pada kondisi standart, diketahui bahwa kandungan PM pada 2200 rpm adalah 0,0000001165 % m/m pada pembebanan 3500 watt; 0,0000000520 % m/m pada pembebanan 2600 watt; dan 0,0000000358 % m/m pada pembebanan 1700 watt.

Dari data-data tersebut diatas diketahui bahwa mesin Yanmar TF 85 MH-di sudah memenuhi standart untuk emisi *particulate matter* yang diijinkan oleh MARPOL ANNEX VI.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, untuk penginjeksian sejumlah 20 ml hidrokarbon atau 20 ml amonia pada 2200 rpm dengan variasi pembebanan 3500 watt, 2600 watt, dan 1700 watt dengan variasi 60% *zeolite*, 45% *zeolite*, 30% *zeolite*, dan 15% *zeolite* maka diketahui kandungan NOx dari 0 % m/m sampai 0,0000002416 % m/m.

Dari data setelah dilakukan metode SCR untuk mengurangi emisi PM dapat mengurangi hingga 0 % m/m dengan syarat pada 60% *zeoilte* dan pembebanan 3500 watt.

Perbandingan penginjeksian antara amonia dan hidrokarbon berdasarkan pengujian masih lebih baik amonia daripada hidrokarbon untuk mengurangi emisi *particulate metter*. Namun meskipun tidak diinjeksikan dengan amonia maupun hidrokarbon mesin Yanmar TF 85 MH-di masih memenuhi standar MARPOL. Sehingga lebih memilih penginjeksian menggunakan hidrokarbon daripada amonia karena lebih mengurangi emisi NOx.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

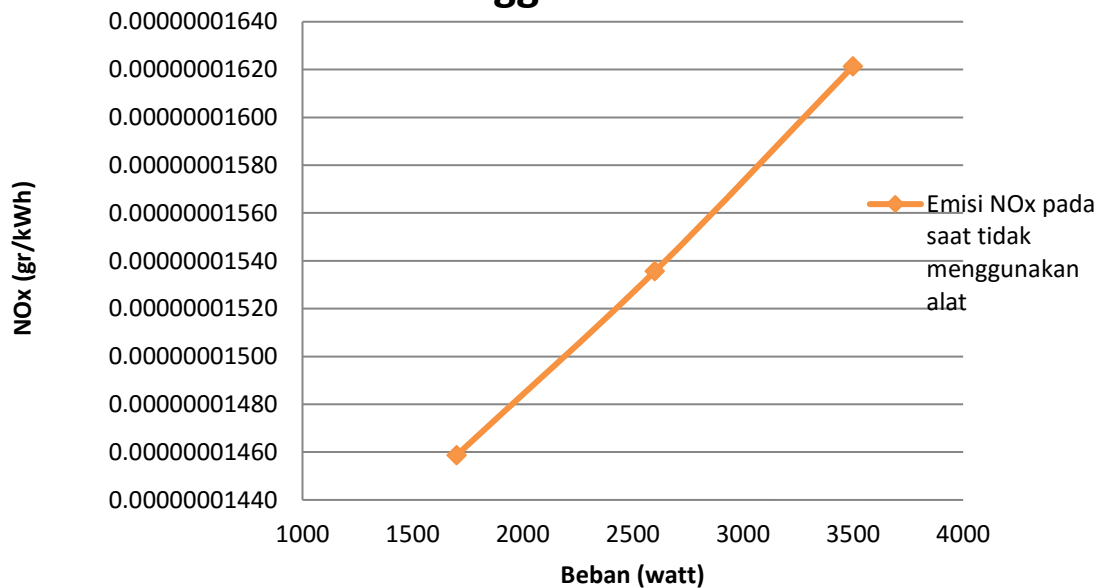
## **LAMPIRAN**



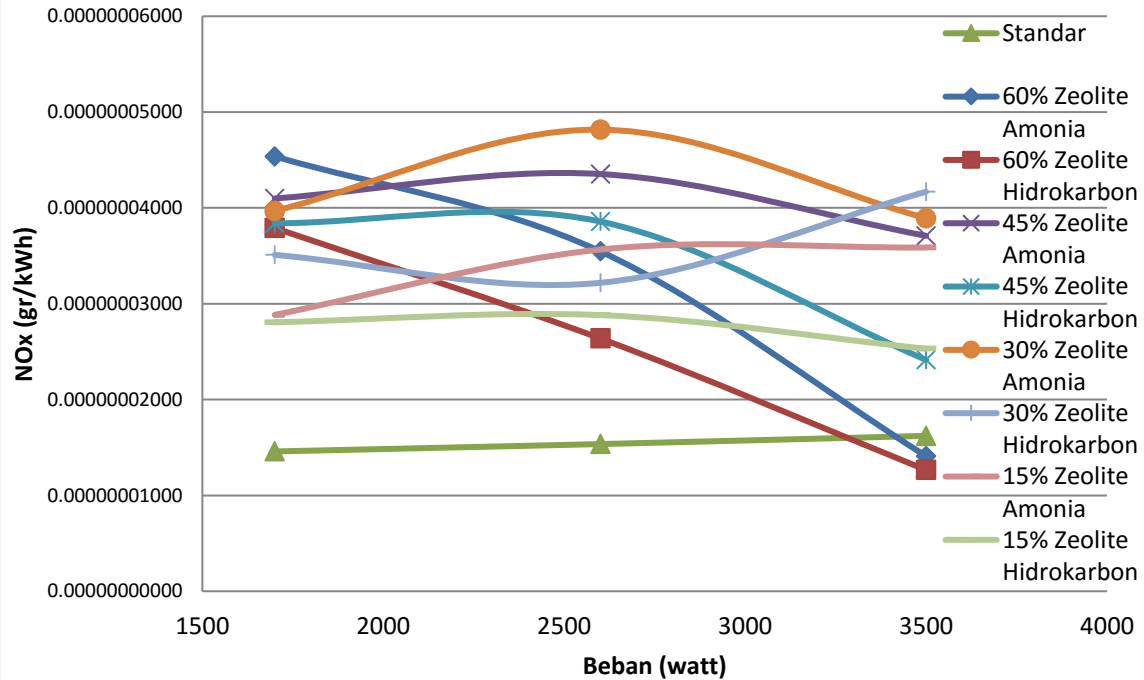
Engine Model	:	Motor Diesel 4 langkah horisontal berpendingin air
Combution	:	Langsung
No. of Cylinder	:	1
Cyl. Bore x Stroke (mm)	:	85 x 87
Displacement (cc)	:	493
Cooling System	:	Hopper
Starting System	:	Manual (engkol)
Lubrication Type	:	SAE 40
Lub. Oil Capacity (liter)	:	2,2
Fuel Tank Capacity (liter)	:	10,5
SFOC (gr/dkjam)	:	171
Fuel	:	Diesel Fuel
Dimention (LxWxH)	:	672 x 330,5 x 496
Dry Weight (kg)	:	93
Compression Ratio	:	18

## Beban VS NOx

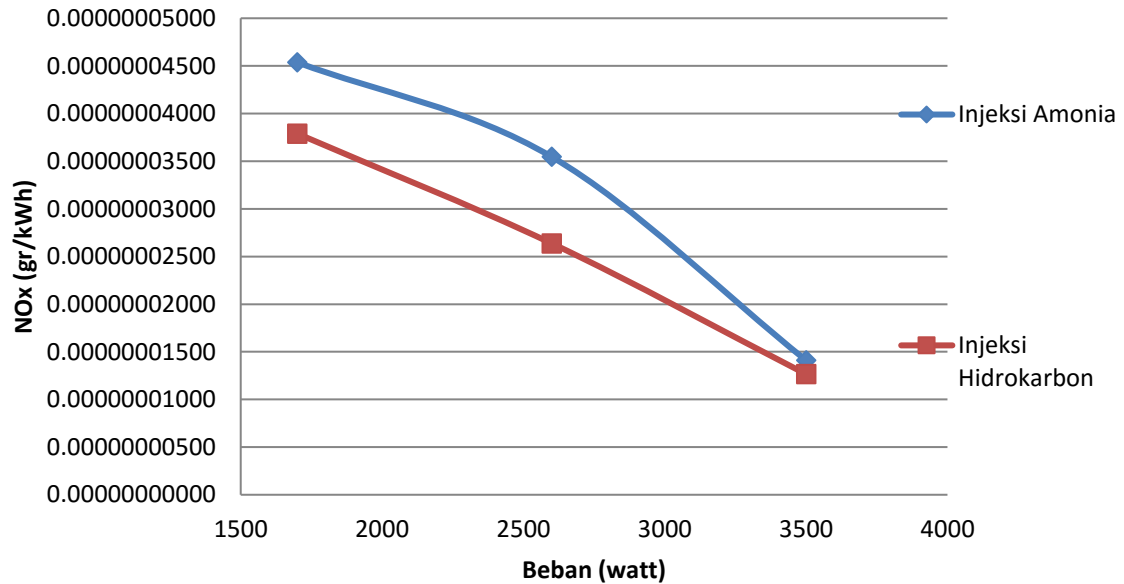
### Tidak Menggunakan Alat



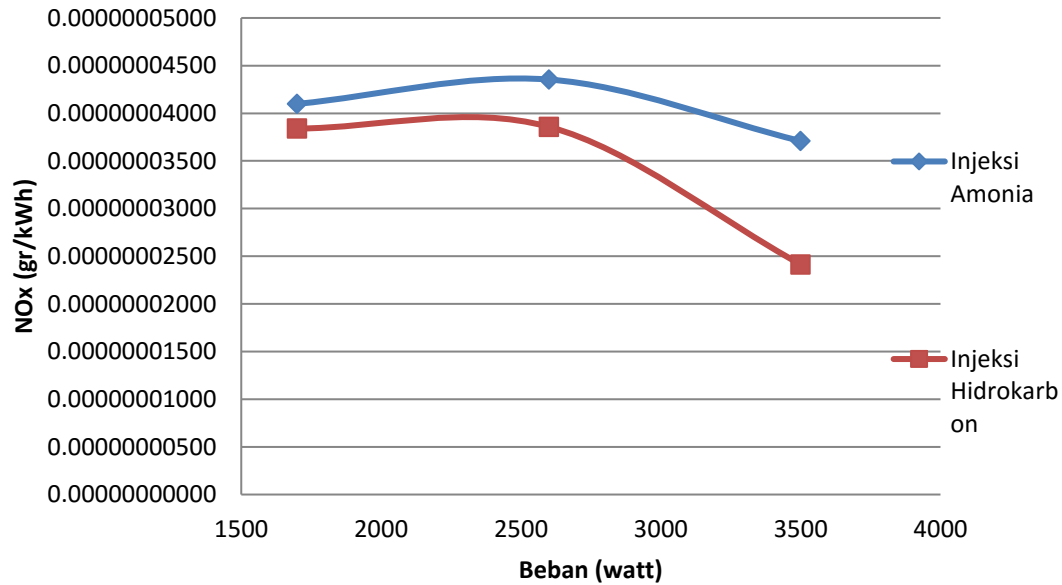
## Beban VS NOx



## Zeolite 60% Beban VS NOx



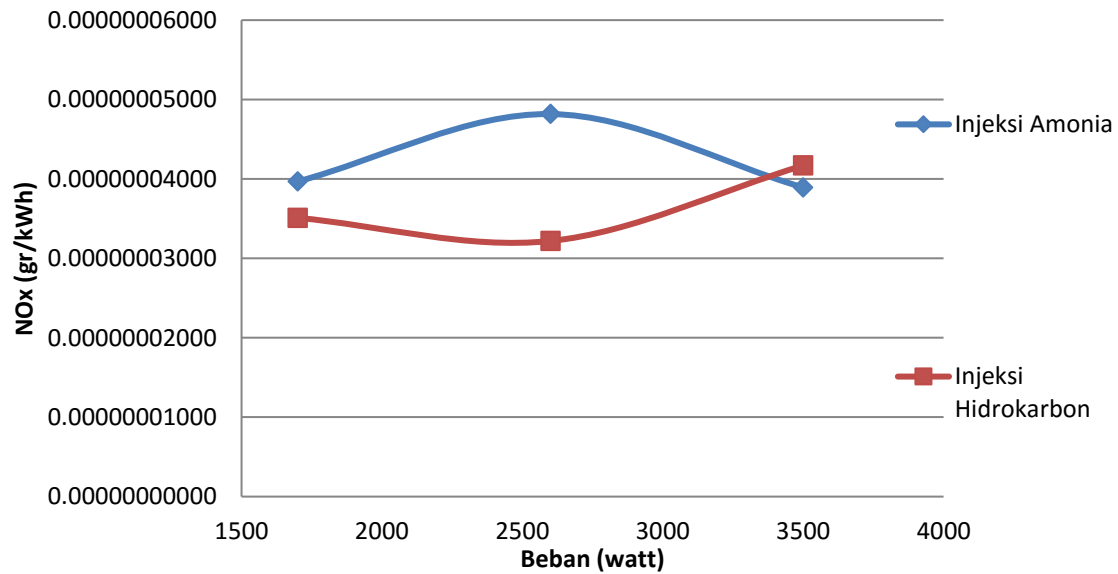
## Zeolite 45% Beban VS NOx





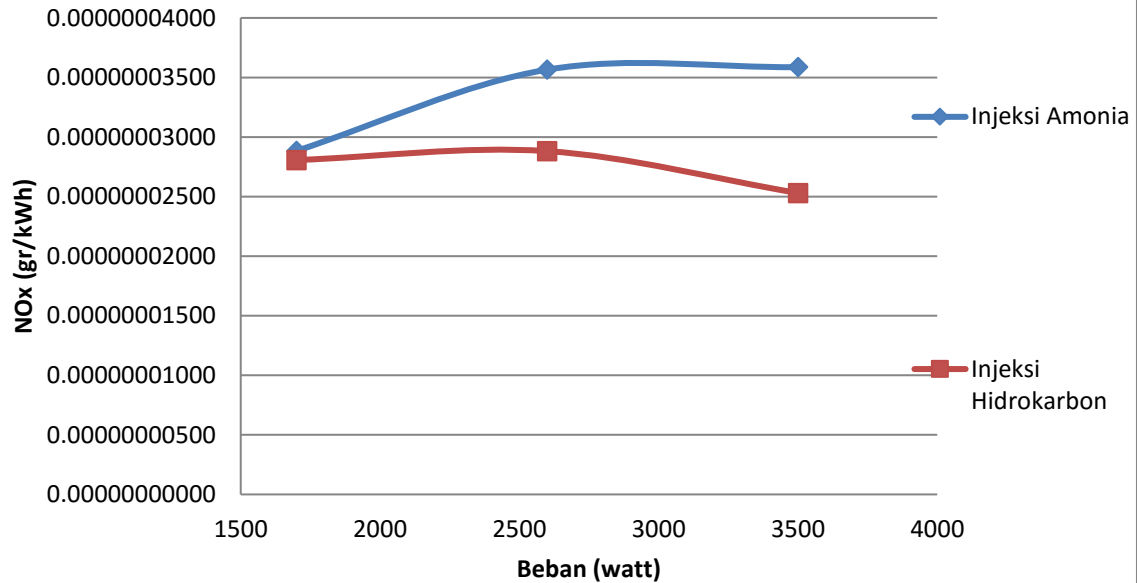
## Zeolite 30%

### Beban VS NOx

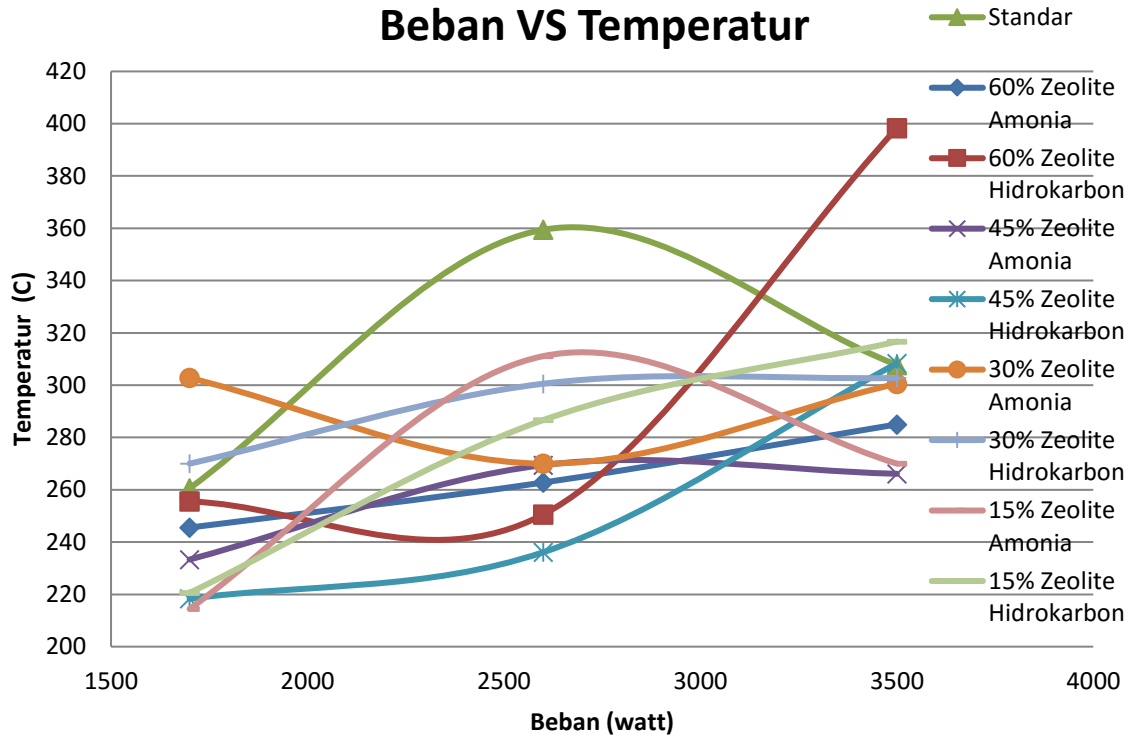


## Zeolite 15%

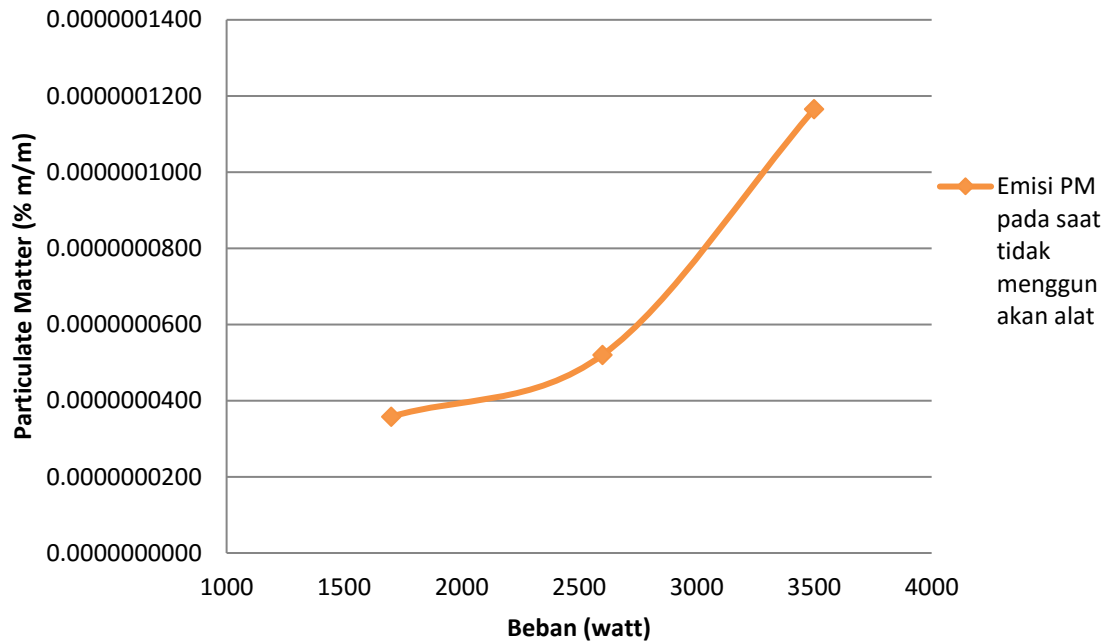
### Beban VS NOx



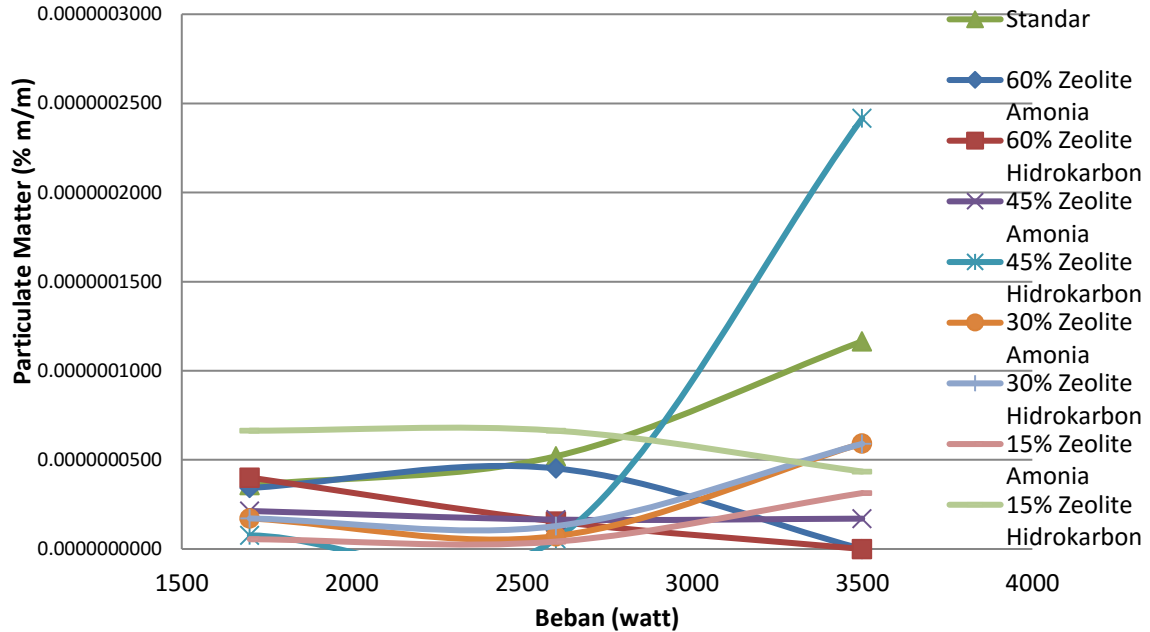
## Beban VS Temperatur



## Beban VS Particulate Matter Tidak Menggunakan Alat

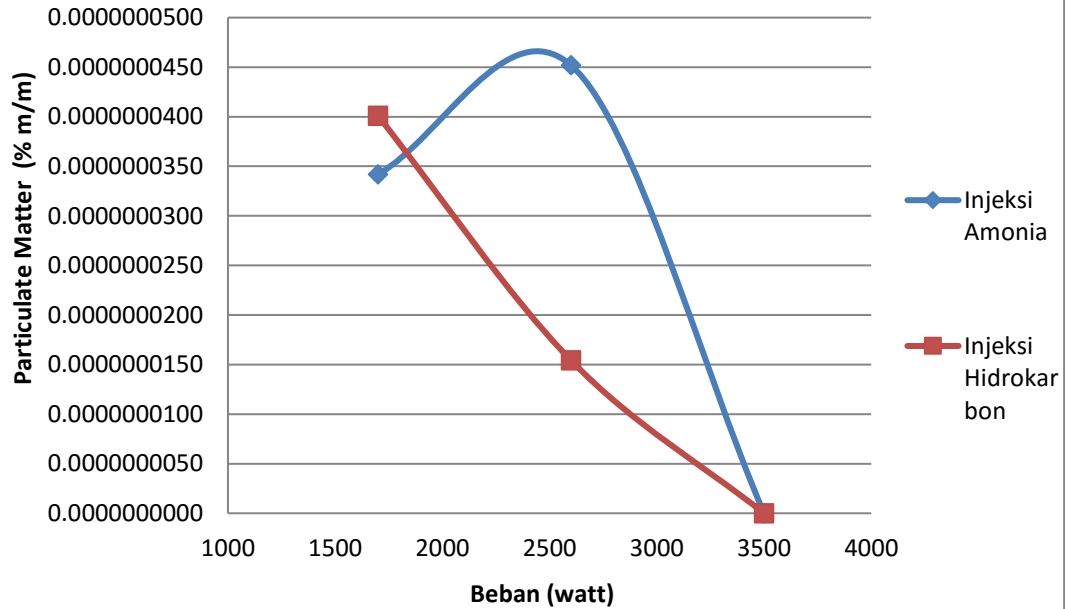


## Beban VS Particulate Matter Menggunakan Alat



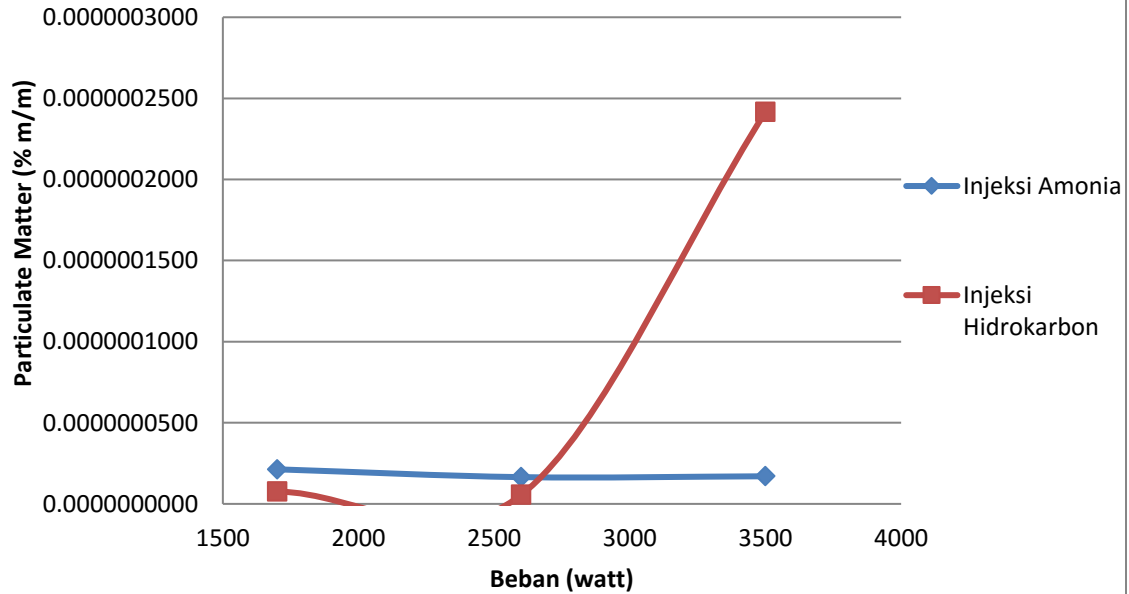
## Zeolite 60%

### Beban VS Particulate Matter



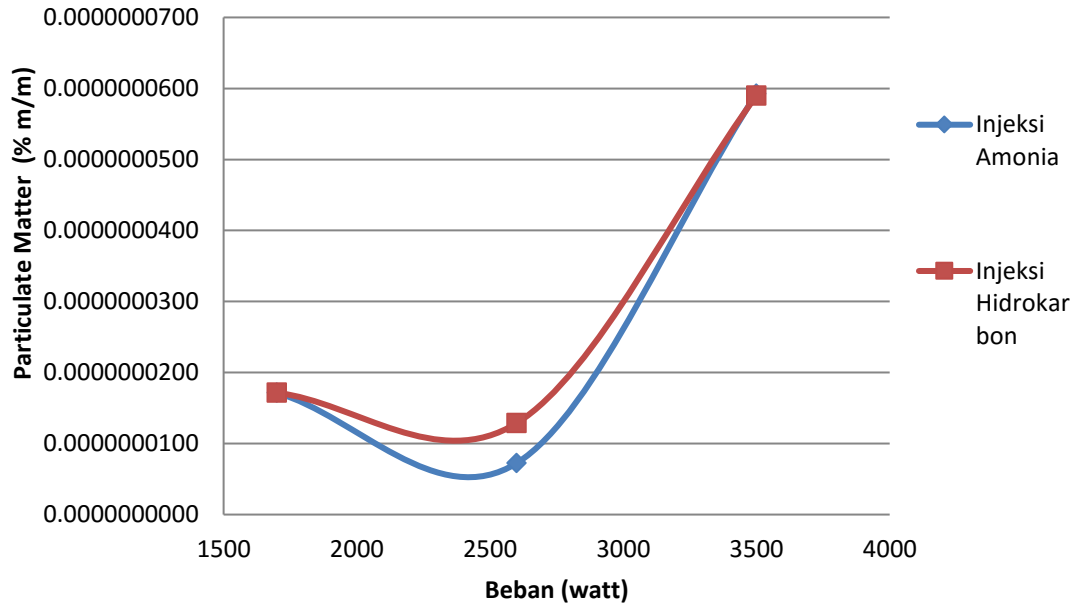
## Zeolite 45%

### Beban VS Particulate Matter



## Zeolite 30%

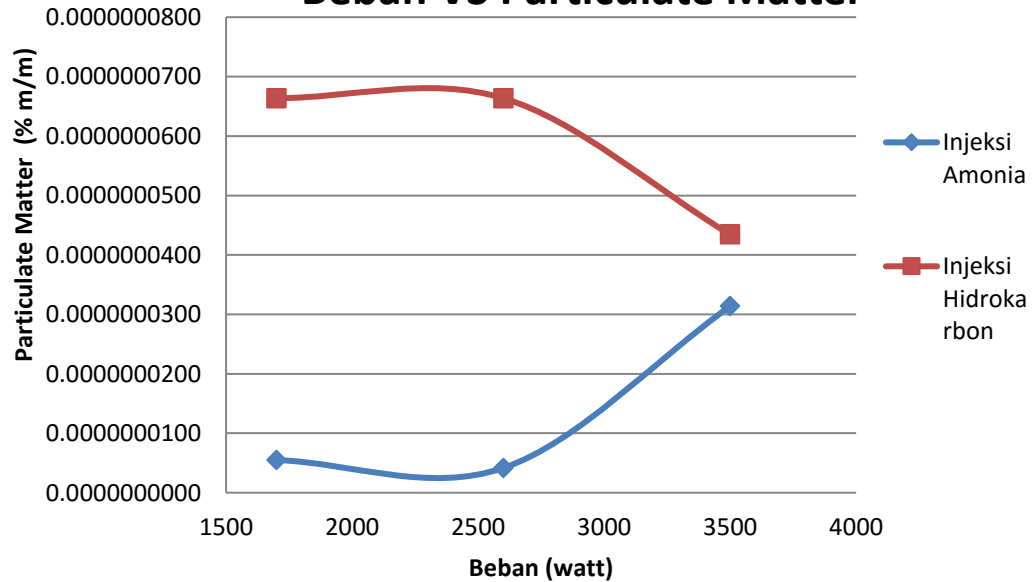
### Beban VS Particulate Matter





## Zeolite 15%

### Beban VS Particulate Matter



LOAD	RPM MESIN	RPM GENERATOR	V	I	VOLUME	WAKTU	Volume	Waktu	Density	Effisiensi Slip
Watt			Volt	Ampere	ml	second	m3	jam	gr/m3	%
1000	1800	1307	178	3,4	10	71,5	0,00001	0,019861	850000	0,9948
2000	1800	1305	187	7,4	10	52,1	0,00001	0,014472	850000	0,9933
3000	1800	1301	188	11,2	10	42,5	0,00001	0,011806	850000	0,9902
4000	1800	1301	189	15	10	31,5	0,00001	0,00875	850000	0,9902
5000	1800	1290	182	18,5	10	24,8	0,00001	0,006889	850000	0,9818

P	FCR	SFOC	Torsi	BMEP	LHV
Kw	gr/h	gr/kwh	Nm	N/m2	J/kg
0,6442	427,9720	664,3800	3,4191	13870,78	43921500
1,4752	587,3321	398,1488	7,8299	31764,39	43921500
2,2515	720,0000	319,7852	11,9507	48481,53	43921500
3,0315	971,4286	320,4495	16,0905	65275,99	43921500
3,6310	1233,8710	339,8136	19,2729	78186,38	43921500

LOAD	RPM MESIN	RPM GENERATOR	V	I	VOLUME	WAKTU	Volume	Waktu	Density	Effisiensi Slip
Watt			Volt	Ampere	ml	second	m3	jam	gr/m3	%
1000	1900	1383	194	3,6	10	63,9	0,00001	0,01775	850000	0,9972
2000	1900	1376	202	7,7	10	50,8	0,00001	0,014111	850000	0,9922
3000	1900	1374	204	11,7	10	34,7	0,00001	0,009639	850000	0,9907
4000	1900	1372	200	15,6	10	26,5	0,00001	0,007361	850000	0,9893
5000	1900	1362	194	19,3	10	20,6	0,00001	0,005722	850000	0,9821

P	FCR	SFOC	Torsi	BMEP	LHV
Kw	gr/h	gr/kwh	Nm	N/m2	J/kg
0,7415	478,8732	645,7760	3,728865115	15127,24	43921500
1,6599	602,3622	362,8920	8,346766877	33861,12	43921500
2,5509	881,8444	345,7053	12,82696529	52036,37	43921500
3,3393	1154,7170	345,7948	16,79171699	68120,56	43921500
4,0368	1485,4369	367,9727	20,29908932	82349,25	43921500

LOAD	RPM MESIN	RPM GENERATOR	V	I	VOLUME	WAKTU	Volume	Waktu	Density	Effisiensi Slip
Watt			Volt	Ampere	ml	second	m3	jam	gr/m3	%
1000	2000	1448	207	3,7	10	63,3	0,00001	0,017583	850000	0,9919
2000	2000	1443	215	8	10	44,6	0,00001	0,012389	850000	0,9885
3000	2000	1446	217	12	10	29,8	0,00001	0,008278	850000	0,9905
4000	2000	1443	214	16,2	10	23,2	0,00001	0,006444	850000	0,9885
5000	2000	1430	208	20	10	19	0,00001	0,005278	850000	0,9796

P	FCR	SFOC	Torsi	BMEP	LHV
Kw	gr/h	gr/kwh	Nm	N/m2	J/kg
0,8176	483,4123	591,2637	3,905693248	15844,6	43921500
1,8424	686,0987	372,3844	8,801500927	35705,89	43921500
2,7836	1026,8456	368,8922	13,29741767	53944,9	43921500
3,7136	1318,9655	355,1714	17,74014152	71968,12	43921500
4,4967	1610,5263	358,1604	21,48087245	87143,5	43921500

LOAD	RPM MESIN	RPM GENERATOR	V	I	VOLUME	WAKTU	Volume	Waktu	Density	Effisiensi Slip
Watt			Volt	Ampere	ml	second	m3	jam	gr/m3	%
1000	2100	1524	226	3,9	10	56,8	0,00001	0,015778	850000	0,9942
2000	2100	1518	230	8,3	10	41,6	0,00001	0,011556	850000	0,9903
3000	2100	1513	230	12,6	10	33,3	0,00001	0,00925	850000	0,9871
4000	2100	1507	227	16,7	10	19,9	0,00001	0,005528	850000	0,9831
5000	2100	1502	222	20,7	10	16,9	0,00001	0,004694	850000	0,9799

P	FCR	SFOC	Torsi	BMEP	LHV
Kw	gr/h	gr/kwh	Nm	N/m2	J/kg
0,9387	538,7324	573,935	4,270539099	17324,7	43921500
2,0411	735,5769	360,3891	9,286002154	37671,41	43921500
3,1087	918,9189	295,5939	14,14340821	57376,91	43921500
4,0827	1537,6884	376,6318	18,57478088	75354,08	43921500
4,9656	1810,6509	364,6356	22,59165309	91649,71	43921500

LOAD	RPM MESIN	RPM GENERATOR	V	I	VOLUME	WAKTU	Volume	Waktu	Density	Effisiensi Slip
Watt			Volt	Ampere	ml	second	m3	jam	gr/m3	%
1000	2200	1593	240	4,1	10	50,4	0,00001	0,014	850000	0,9920
2000	2200	1590	242	8,6	10	36,7	0,00001	0,010194	850000	0,9901
3000	2200	1588	243	13	10	26,5	0,00001	0,007361	850000	0,9889
4000	2200	1575	240	17,3	10	20,9	0,00001	0,005806	850000	0,9808
5000	2200	1545	228	21,1	10	12,5	0,00001	0,003472	850000	0,9621

P	FCR	SFOC	Torsi	BMEP	LHV
Kw	gr/h	gr/kwh	Nm	N/m2	J/kg
1,0503	607,1429	578,0772	4,561145704	18503,63	43921500
2,2256	833,7875	374,639	9,66521048	39209,78	43921500
3,3824	1154,7170	341,3899	14,68905142	59590,47	43921500
4,4823	1464,1148	326,6425	19,46576204	78968,61	43921500
5,2944	2448,0000	462,3777	22,99235423	93275,27	43921500

Tidak menggunakan alat

DAYA	LOAD	RPM MESIN	NOx	NOx	NOx	P	Waktu	NOx	Temperatur	Temperatur
%	watt		ppm	microgram	gram	kW	h	gr/kWh	F	C
100	3500	2200	3831	76.62	0.00007662	3.58	1320	0.00000001621	586	307.77
75	2600	2200	3469	69.38	0.00006938	2.51	1800	0.00000001536	679	359.44
50	1700	2200	3072	61.44	0.00006144	1.8	2340	0.00000001459	501	260.55

Menggunakan alat 60% Zeolite

DAYA	LOAD	RPM MESIN	Injeksi	NOx	NOx	NOx	P	Waktu	NOx	Temperatur	Temperatur
%	watt			ppm	microgram	gram	kW	h	gr/kWh	F	C
100	3500	2200	Amonia	3335	66.70	0.00006670	3.58	1320	0.00000001410	545	285.00
100	3500	2200	Hidrokarbon	2993	59.86	0.00005986	3.58	1320	0.00000001265	749	398.33
75	2600	2200	Amonia	8017	160.34	0.00016034	2.51	1800	0.00000003546	505	262.77
75	2600	2200	Hidrokarbon	5963	119.26	0.00011926	2.51	1800	0.00000002638	483	250.55
50	1700	2200	Amonia	9534	190.68	0.00019068	1.80	2340	0.00000004537	474	245.55
50	1700	2200	Hidrokarbon	7963	159.26	0.00015926	1.80	2340	0.00000003790	492	255.55

Menggunakan alat 45% Zeolite

DAYA	LOAD	RPM MESIN	Injeksi	NOx	NOx	NOx	P	Waktu	NOx	Temperatur	Temperatur
%	watt			ppm	microgram	gram	kW	h	gr/kWh	F	C
100	3500	2200	Amonia	8763	175.26	0.00017526	3.58	1320	0.00000003709	511	266.11
100	3500	2200	Hidrokarbon	5705	114.10	0.00011410	3.58	1320	0.00000002415	587	308.33
75	2600	2200	Amonia	9835	196.70	0.00019670	2.51	1800	0.00000004354	517	269.44
75	2600	2200	Hidrokarbon	8715	174.30	0.00017430	2.51	1800	0.00000003858	457	236.11
50	1700	2200	Amonia	8631	172.62	0.00017262	1.80	2340	0.00000004098	452	233.33
50	1700	2200	Hidrokarbon	8085	161.70	0.00016170	1.80	2340	0.00000003839	425	218.33

Menggunakan alat 30% Zeolite

DAYA	LOAD	RPM MESIN	Injeksi	NOx	NOx	NOx	P	Waktu	NOx	Temperatur	Temperatur
%	watt			ppm	microgram	gram	kW	h	gr/kWh	F	C
100	3500	2200	Amonia	9198	183.96	0.00018396	3.58	1320	0.00000003893	573	300.55
100	3500	2200	Hidrokarbon	9849	196.98	0.00019698	3.58	1320	0.00000004168	577	302.77
75	2600	2200	Amonia	10882	217.64	0.00021764	2.51	1800	0.00000004817	518	270.00
75	2600	2200	Hidrokarbon	7271	145.42	0.00014542	2.51	1800	0.00000003219	573	300.55
50	1700	2200	Amonia	8358	167.16	0.00016716	1.80	2340	0.00000003969	577	302.77
50	1700	2200	Hidrokarbon	7392	147.84	0.00014784	1.80	2340	0.00000003510	518	270.00



Menggunakan alat 15 %

DAYA	LOAD	RPM MESIN	Injeksi	NOx	NOx	NOx	P	Waktu	NOx	Temperatur	Temperatur
%	watt			ppm	microgram	gram	kW	h	gr/kWh	F	C
100	3500	2200	Amonia	8475	169.50	0.00016950	3.58	1320	0.00000003587	518	270.00
100	3500	2200	Hidrokarbon	5979	119.58	0.00011958	3.58	1320	0.00000002530	600	316.66
75	2600	2200	Amonia	8055	161.10	0.00016110	2.51	1800	0.00000003566	592	311.11
75	2600	2200	Hidrokarbon	6510	130.20	0.00013020	2.51	1800	0.00000002882	548	286.66
50	1700	2200	Amonia	6074	121.48	0.00012148	1.80	2340	0.00000002884	418	214.44
50	1700	2200	Hidrokarbon	5912	118.24	0.00011824	1.80	2340	0.00000002807	429	220.55

NO	Nama Alat	Load (kW)	% Daya	Injeksi	Waktu (menit)	Particulate Matter (mg/m <sup>3</sup> )	Molar Mass C <sub>13</sub> H <sub>28</sub> g/mol	Particulate Matter PPM	Particulate Matter (% m/m)	Flow (LPM)	Temp. (C)
1	Tanpa Alat	3500	100	-	1	0,869	182,345	0,117	0,0000001165	2,00	22,3
2	Tanpa Alat	2600	75	-	1	0,388	182,345	0,052	0,0000000520	2,00	22,4
3	Tanpa Alat	1700	50	-	1	0,267	182,345	0,036	0,0000000358	2,00	22,6
4	60% Zeolite	3500	100	Amonia	1	0,000	182,345	0,000	0,0000000000	0,00	23,1
5		3500	100	Hidrokarbon	1	0,000	182,345	0,000	0,0000000000	0,00	23,3
6		2600	75	Amonia	1	0,337	182,345	0,045	0,0000000452	2,00	23,5
7		2600	75	Hidrokarbon	1	0,115	182,345	0,015	0,0000000154	2,00	23,8
8		1700	50	Amonia	1	0,255	182,345	0,034	0,0000000342	2,20	24,1
9		1700	50	Hidrokarbon	1	0,299	182,345	0,040	0,0000000401	2,00	24,1
10	45% Zeolite	3500	100	Amonia	1	0,127	182,345	0,017	0,0000000170	2,00	24,2
11		3500	100	Hidrokarbon	1	1,802	182,345	0,242	0,0000002416	2,00	24,4
12		2600	75	Amonia	1	0,123	182,345	0,016	0,0000000165	2,00	24,5
13		2600	75	Hidrokarbon	1	0,042	182,345	0,006	0,0000000056	1,90	24,6
14		1700	50	Amonia	1	0,159	182,345	0,021	0,0000000213	2,00	24,6
15		1700	50	Hidrokarbon	1	0,057	182,345	0,008	0,0000000076	2,00	24,6
16	30% Zeolite	3500	100	Amonia	1	0,442	182,345	0,059	0,0000000593	2,00	24,8
17		3500	100	Hidrokarbon	1	0,440	182,345	0,059	0,0000000590	2,00	24,9
18		2600	75	Amonia	1	0,054	182,345	0,007	0,0000000072	2,00	25,0
19		2600	75	Hidrokarbon	1	0,096	182,345	0,013	0,0000000129	2,00	25,0
20		1700	50	Amonia	1	0,128	182,345	0,017	0,0000000172	2,00	25,1
21		1700	50	Hidrokarbon	1	0,128	182,345	0,017	0,0000000172	2,00	25,1
22	15% Zeolite	3500	100	Amonia	1	0,234	182,345	0,031	0,0000000314	2,00	25,2
23		3500	100	Hidrokarbon	1	0,324	182,345	0,043	0,0000000434	2,00	25,2
24		2600	75	Amonia	1	0,031	182,345	0,004	0,0000000042	2,00	25,3
25		2600	75	Hidrokarbon	1	0,495	182,345	0,066	0,0000000664	2,00	25,4
26		1700	50	Amonia	1	0,041	182,345	0,005	0,0000000055	2,00	25,5
27		1700	50	Hidrokarbon	1	0,495	182,345	0,066	0,0000000664	2,00	25,5

Kode Sampel : E1-D424	Tanggal Terima : 20 JUNI 2016
Nama Sampel: SCR	Tanggal Pengerjaan: 14 JULI 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 JULI 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh 

tidak menggunakan alat

2500

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 08:33 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	82	°F
T.Gas	586	°F
T.Sensor	80	°F
O2	17.7	%
CO 0%02	481	PPM
NO 0%02	3831	PPM
SO2 0%02	0	PPM
H2 0%02	0	PPM
CO2	1.8	%
Eff.	35.2	%
Losses	64.8	%
Exc. air	6.36	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

2600

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 08:31 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	81	°F
T.Gas	679	°F
T.Sensor	79	°F
O2	18.1	%
CO 0%02	138	PPM
NO 0%02	3469	PPM
SO2 0%02	0	PPM
H2 0%02	0	PPM
CO2	1.6	%
Eff.	16.3	%
Losses	83.7	%
Exc. air	7.24	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

1700

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 08:35 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	84	°F
T.Gas	501	°F
T.Sensor	82	°F
O2	18.3	%
CO 0%02	687	PPM
NO 0%02	3072	PPM
SO2 0%02	0	PPM
H2 0%02	0	PPM
CO2	1.5	%
Eff.	34.9	%
Losses	65.1	%
Exc. air	7.78	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

Kode Sampel : E1-0424	Tanggal Terima : 29 Juni 2016
Nama Sampel: SCN	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Menggunakan alat 60% hasil

3500 Ingersoll Rand

3500 Ingersoll Rand

2600 Ingersoll Rand

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 08:42 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	86	°F
T.Gas	545	°F
T.Sensor	86	°F
O2	17.7	%
CO 0%O2	242	PPM
NO 0%O2	3335	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	1.8	%
Eff.	40.1	%
Losses	59.9	%
Exc. air	6.36	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 08:45 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	87	°F
T.Gas	749	°F
T.Sensor	87	°F
O2	16.2	%
CO 0%O2	766	PPM
NO 0%O2	2993	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	2.7	%
Eff.	39.8	%
Losses	60.2	%
Exc. air	4.38	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 08:48 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	88	°F
T.Gas	585	°F
T.Sensor	89	°F
O2	19.3	%
CO 0%O2	296	PPM
NO 0%O2	8817	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.9	%
Eff.	3.2	%
Losses	96.8	%
Exc. air	12.35	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

Kode Sampel : E1-0424	Tanggal Terima : 29 Juni 2016
Nama Sampel: scd	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh 

Menggunakan alat 60% audit

4600 injeksi hidrokarbon

1700 injeksi americana

1700 injeksi hidrokarbon

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 10.14.00 08:50 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Matural

T.Air	89	°F
T.Gas	483	°F
T.Sensor	90	°F
O2	19.5	%
CO 0%O2	770	PPM
NO 0%O2	5936	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.8	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	14.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 10.14.00 08:52 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Matural

T.Air	89	°F
T.Gas	474	°F
T.Sensor	91	°F
O2	20.0	%
CO 0%O2	399	PPM
NO 0%O2	9534	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 10.14.00 08:53 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Matural

T.Air	89	°F
T.Gas	492	°F
T.Sensor	92	°F
O2	19.8	%
CO 0%O2	350	PPM
NO 0%O2	7963	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.7	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	17.50	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com



Kode Sampel : 21-0424	Tanggal Terima : 29 JUNI 2016
Nama Sampel : CO	Tanggal Pengerjaan: 14 JULI 2016
Jenis Uji : Uji Energi	Tanggal Selesai : 14 JULI 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Mendemonstrasikan alat uji berikut.

1500 Injeksi otomatis

1500 Injeksi Injeksi manual

1500 Injeksi otomatis

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 09:02 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Gas	511	°F
T.Sensor	94	°F
O2	19.9	%
CO 00:02	458	PPM
NO 00:02	9763	PPM
SO2 00:02	0	PPM
H2 00:02	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	19.89	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 09:03 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Gas	587	°F
T.Sensor	95	°F
O2	19.2	%
CO 00:02	1097	PPM
NO 00:02	5705	PPM
SO2 00:02	0	PPM
H2 00:02	0	PPM
CO2	1.0	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	11.67	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*


Date Time  
 10.14.00 09:06 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Gas	517	°F
T.Sensor	95	°F
O2	19.8	%
CO 00:02	525	PPM
NO 00:02	9635	PPM
SO2 00:02	0	PPM
H2 00:02	0	PPM
CO2	0.7	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	17.90	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

Kode Sampel : E1 - C424	Tanggal Terima : 29 Juni 2016
Nama Sampel: SCR	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Menggunakan alat 45% ZedH.

2600 mgensi hidrocarbon

1700 mgensi ammonia

1700 mgensi hidrocarbon

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 10.14.00 09:07 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Gas	457	°F
T.Sensor	95	°F
O2	20.0	%
CO 0%02	588	PPM
NO 0%02	8715	PPM
SO2 0%02	0	PPM
H2 0%02	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 10.14.00 09:10 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Gas	452	°F
T.Sensor	96	°F
O2	20.0	%
CO 0%02	1491	PPM
NO 0%02	8631	PPM
SO2 0%02	0	PPM
H2 0%02	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com


\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*  
 Date Time  
 10.14.00 09:12 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	90	°F
T.Gas	425	°F
T.Sensor	96	°F
O2	20.0	%
CO 0%02	1596	PPM
NO 0%02	9085	PPM
SO2 0%02	0	PPM
H2 0%02	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

Kode Sampel : EL-0424	Tanggal Terima : 29 Juni 2016
Nama Sampel: SCR	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Waktu uji standar 30% sesuai

3500 injeksi amonia

3500 injeksi hidrokarbon

3500 injeksi amonia

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2 KN \*

Date Time  
 18.14.00 09:25 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	573	°F
T.Sensor	99	°F
O2	20.0	%
CO 0%O2	963	PPM
NO 0%O2	9198	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3290  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2 KN \*

Date Time  
 18.14.00 09:26 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	577	°F
T.Sensor	99	°F
O2	20.0	%
CO 0%O2	651	PPM
NO 0%O2	9849	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3290  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2 KN \*

Date Time  
 18.14.00 09:28 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	510	°F
T.Sensor	99	°F
O2	19.9	%
CO 0%O2	725	PPM
NO 0%O2	10882	PPM
SO2 0%O2	0	PPM
H2 0%O2	0	PPM
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	19.09	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3290  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com



Kode Sampel : E1-0424	Tanggal Terima : 29 Juni 2016
Nama Sampel: SCP	Tanggal Pengerjaan: 14 Juli 2016
Jenis Uji : Uji Emisi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Menebuskan alat 20% sesuai

2600 injeksi hidrokarbon

1700 injeksi ammonia

1700 injeksi hidrokarbon

\*\*\*\*\*  
 \*ECON - J2KN\*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 09:29 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	543	°F
T.Sensor	99	°F
O2	19.4	%
CO 0%O2	525	PPH
NO 0%O2	7271	PPH
SO2 0%O2	0	PPH
H2 0%O2	0	PPH
CO2	0.9	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	13.13	

ECON America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.econusa.com

\*\*\*\*\*  
 \*ECON - J2KN\*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 10.14.00 09:31 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	463	°F
T.Sensor	100	°F
O2	20.0	%
CO 0%O2	1344	PPH
NO 0%O2	8358	PPH
SO2 0%O2	0	PPH
H2 0%O2	0	PPH
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECON America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.econusa.com

\*\*\*\*\*  
 \*ECON - J2KN\*  
 \*\*\*\*\*


Date Time  
 10.14.00 09:33 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	428	°F
T.Sensor	100	°F
O2	20.0	%
CO 0%O2	1701	PPH
NO 0%O2	7392	PPH
SO2 0%O2	0	PPH
H2 0%O2	0	PPH
CO2	0.6	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	21.00	

ECON America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30507  
 Tel. 770-532-3280  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.econusa.com

Kode Sampel : E1-0424	Tanggal Terima : 29 JUNI 2016
Nama Sampel : GCP	Tanggal Pengerjaan: 14 JULI 2016
Jenis Uji : Uji Energi	Tanggal Selesai : 14 JULI 2016
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Menggunakan alat 15% serut

1500 mJenis sampel

1500 mJenis sampel

1500 mJenis sampel

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 18.14.00 09:42 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	%
T.Gas	518	%
T.Sensor	99	%
O2	19.6	%
CO	0.002	ppm
NO	0.002	ppm
SO2	0.002	ppm
H2	0.002	ppm
CO2	0.0	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	15.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3200  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 18.14.00 09:44 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	%
T.Gas	600	%
T.Sensor	99	%
O2	19.3	%
CO	0.002	ppm
NO	0.002	ppm
SO2	0.002	ppm
H2	0.002	ppm
CO2	0.0	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	12.35	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3200  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
 \* ECOM - J2KN \*  
 \*\*\*\*\*

Date Time  
 18.14.00 09:47 PM

Gas analysis

Fuel type  
 Gas-Natural

T.Air	91	%
T.Gas	592	%
T.Sensor	99	%
O2	19.6	%
CO	0.002	ppm
NO	0.002	ppm
SO2	0.002	ppm
H2	0.002	ppm
CO2	0.0	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	15.00	

ECOM America Ltd.  
 1628 Oakbrook Drive  
 Gainesville  
 Georgia 30607  
 Tel. 770-532-3200  
 Fax: 770-532-3620  
 Toll-Free 877-326-6411  
 www.ecomusa.com

Kode Sampel : E1-044	Tanggal Terima : 29 Juni 2014
Nama Sampel : SCN	Tanggal Pengerjaan : 14 Juli 2014
Jenis Uji : Uji Energi	Tanggal Selesai : 14 Juli 2014
Metode Uji :	Diperiksa Oleh : 

Menggunakan alat 15% 2014

2600 Wgens Robotika

1300 Wgens Robotika

1600 Wgens Robotika

\*\*\*\*\*  
# ECOM - J2KN #  
\*\*\*\*\*

Date Time  
18.14.00 09:46 PM

Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	548	°F
T.Sensor	188	°F
O2	19.4	%
CO	0.002	ppm
NO	0.002	ppm
CO2	0	ppm
H2	0	ppm
CO2	0.9	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	13.13	

EDDM America Ltd.  
1629 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30607  
Tel. 770-532-3288  
Fax: 770-532-3628  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
# ECOM - J2KN #  
\*\*\*\*\*

Date Time  
18.14.00 09:53 PM

Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	418	°F
T.Sensor	188	°F
O2	19.7	%
NO	0.002	ppm
NO2	0	ppm
CO2	0.7	%
Eff.	1.3	%
Losses	98.7	%
Exc. air	16.15	

EDDM America Ltd.  
1629 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30607  
Tel. 770-532-3288  
Fax: 770-532-3628  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

\*\*\*\*\*  
# ECOM - J2KN #  
\*\*\*\*\*

Date Time  
18.14.00 09:55 PM

Gas analysis

Fuel type  
Gas-Natural

T.Air	91	°F
T.Gas	429	°F
T.Sensor	99	°F
O2	19.7	%
NO	0.002	ppm
NO2	0	ppm
CO2	0.7	%
Eff.	0.0	%
Losses	100.0	%
Exc. air	16.15	

EDDM America Ltd.  
1629 Oakbrook Drive  
Gainesville  
Georgia 30607  
Tel. 770-532-3288  
Fax: 770-532-3628  
Toll-Free 877-326-6411  
www.ecomusa.com

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **3.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Mesin Yanmar TF 85 MH-di yang dipakai dalam pengujian setelah diukur dalam keadaan standart (tanpa menggunakan alat SCR) sudah memenuhi standart untuk emisi *particulate matter* yang diijinkan oleh MARPOL ANNEX VI.
2. Mesin Yanmar TF 85 MH-di yang dipakai dalam pengujian setelah diukur dalam keadaan standart (tanpa menggunakan alat SCR) sudah memenuhi standart untuk emisi NO<sub>x</sub> yang diijinkan oleh MARPOL ANNEX VI.
3. Dalam usaha penurunan NO<sub>x</sub> dari gas buang pemakaian SCR yang paling efektif adalah pada injeksi hidrokarbon 20 ml pada 2200 rpm dengan beban 3500 watt.
4. Dalam pengujian untuk mengurangi NO<sub>x</sub> lebih efektif menggunakan injeksi hidrokarbon daripada amonia. Karena hidrokarbon dapat mengurangi emisi NO<sub>x</sub> sebesar 21%, sedangkan amonia hanya 12%. Sehingga jika diaplikasikan ke dalam kapal tidak perlu menambah tangki untuk amonia karena solar (hidrokarbon) sudah termasuk didalam tangki bahan bakar di kapal.
5. Jika bertujuan untuk mengurangi emisi *particulate matter* maka lebih efisien menggunakan injeksi amonia pada presentase 15% *zeolite* dan 30% *zeolite*.
6. Jika mesin berjalan pada kondisi daya 100% maka menggunakan SCR 60% *zeolite* dengan injeksi solar untuk mengurangi emisi NO<sub>x</sub> dan *Particulate Matter*.

Tetapi jika mesin berjalan di bawah 100% daya, maka tidak perlu menggunakan SCR.

## **5.2 Saran**

Dari hasil pengujian bahwa kandungan NO<sub>x</sub> dapat dikurang dengan menggunakan SCR dengan syarat beban maksimal dan 60% *zeolite* dengan menggunakan injeksi amonia dan hidrokarbon. Dari perbandingan amonia dan hidrokarbon sebagai *catalyst agent* disarankan untuk menggunakan solar. Agar dapat mendapatkan hasil yang memenuhi standart MARPOL disarankan dilakukan pengujian dengan *catalyst agent* yang lain dan perbandingan *zeolite* yang lebih banyak misalnya 70% *zeolite*, 75% *zeolite*, dan 80% *zeolite*. Akan tetapi dilihat untung ruginya dari semua aspek.

## DAFTAR PUSTAKA

- Seinzenich, Dr. Holger. 2014. Selective Catalytic Reduction: Exhaust aftertreatment for reducing nitrogen oxide emissions.
- Azzara, Alyson. Rutherford. Wang Haifeng. 2014. Feasibility of IMO Annex VI Tier III implementation using Selective Catalytic Reduction
- Santoso A,. (2002), “Pemodelan Dan Simulasi Sebuah Catalytic Converter Berbahan Baku Tembaga untuk menurunkan Emisi NOx dari Motor Diesel “Seminar Nasional Sains & Teknologi - Lembaga Penelitian ITS, 8 Agustus 2002; Surabaya.
- Eko, Prasetyo S. 2007. Pengaruh SCR Berbahan Zeolite Alam Murni Dengan Injeksi Solar Dan Minyak Tanah Terhadap Particulate Matter Gas Buang Main Engine: Surabaya
- Marpol 73/78 Annex VI. Regulations for The Prevention of Air Pollution from ships.’
- Managing risk DNV. Technical and Operational implications Marpol Annex VI

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lumajang pada tanggal 06 Maret 1993. Penulis merupakan putra ragil dari 3 bersaudara dan terlahir dengan nama Wahyu Rahmadansyah dari pasangan bahagia Drs. Sunyoto dan Sri Mujiati Kamsuri, S.Pd. Riwayat pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah SDN Ditotrunan 1 Lumajang, SMPN 1 Lumajang, dan SMAN 1 Lumajang.

Setelah lulus dari SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan ke pendidikan tingkat tinggi strata 1 (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan melalui jalur SNMPTN Undangan dengan NRP. 4212 100 015. Penulis mengambil bidang *Marine Manufacture and Design* (MMD) sebagai fokus pengerjaan skripsi. Di dalam kampus penulis aktif sebagai Staff Kewirausahaan HIMASISKAL ITS. Penulis pernah melaksanakan *On Job Training* (OJT) di PT. DUMAS TANJUNGPURAK SHIPYARD selama 1 bulan dan PT. ASDP FERRY PERSERO INDONESIA selama 1 bulan.